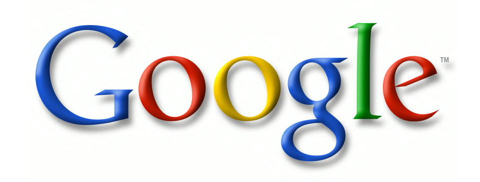
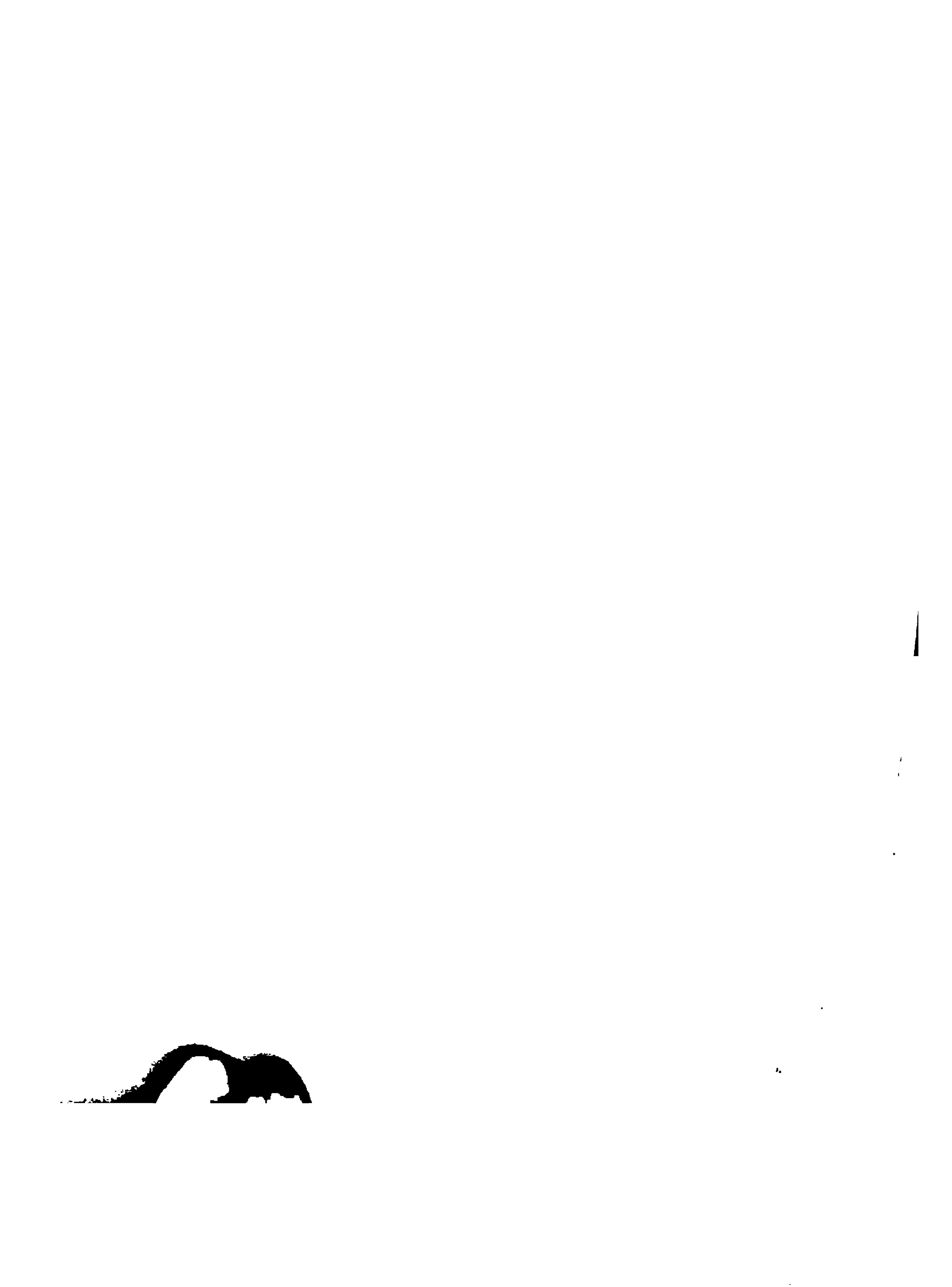








MÉMOIRE DESCRIPTIF

DES

PROJETS

POUR LES DEUX GRANDS PONTS

SUR LE DANUBE ET SUR LA BORCEA

SUR LA LIGNE DU CHEMIN DE FER

BUCAREST — FETESTI — DANUBE

PAR

GEBRÜDER KLEIN, A. SCHMOLL & E. GAERTNER.

ENTREPRISE DE TRAVAUX PUBLICS À VIENNE

ET LA

GUTEHOFFNUNGSHUTTE

SOCIÉTÉ ANONYME POUR L'EXPLOITATION DE MINES ET USINES À OBERHAUSEN

(PRUSSE RHÉNANE).



VIENNE ET OBERHAUSEN

AOÛT 1883.

MWP

MÉMOIRE DESCRIPTIF.

TABLE DES MATIÈRES.

Première Partie:

MÉMOIRE. Pages

Seconde Partie:

DESCRIPTION TECHNIQUE.

DESSINS ET PLANS ANNEXÉS.

LISTE DES ANNEXES ACCOMPAGNANT LES PROJETS

MÉMOIRE DESCRIPTIF

DES

PROJETS

POUR LES DEUX GRANDS PONTS

SUR LE DANUBE ET SUR LA BORCEA

SUR LA LIGNE DU CHEMIN DE FER

BUCAREST — FETESTI — DANUBE.

PREMIÈRE PARTIE:

MÉMOIRE.

Mémoire descriptif

des

Projets

pour les deux grands ponts

sur le DANUBE et sur la BORCEA

sur la ligne du chemin de fer

Bucarest — Fetesti — Cernavoda.

Disposition générale.

Il est nécessaire avant d'entreprendre l'étude de ces travaux, d'examiner le but et la nature des services que doit rendre un passage sur le Danube projeté dans de si vastes dimensions entre Fetesti et Cernavoda.

Le chemin de fer Bucarest-Fetesti-Danube, ainsi complèté par ce grand ouvrage, est évidemment destiné à servir des intérêts de premier ordre, et cette communication, la plus directe entre la capitale du Royaume et la mer noire, ne manquera pas de procurer des avantages considérables au commerce et en général à la richesse publique.

Cette grande ligne internationale Paris-Bucarest-Constantinople, éliminant la route de Varna, et par ce nouveau chemin de fer atteignant la mer à Kustendje sans sortir du territoire Roumain, exercera une influence extraordinaire sur la direction des transports en général, et ouvrira un débouché nouveau à des parties du territoire, très-étendues et d'une grande fertilité qui manquaient jusqu'à-présent de grandes voies de communication.

Le développement immense que l'établissement d'une nouvelle grande ligne de transport apporte, avec la nécessité d'une loi, au commerce, à l'agriculture et aux finances d'un pays, ne tardera pas de répandre ses bienfaits à la suite de la construction du chemin de fer projeté.

Nous ne croyons cependant pas devoir insister plus longuement sur ce point, quoique l'étude de cette question nous ait donné la conviction que l'établissement de la communication projetée soit pleinement déjà motivé à cause de l'utilité publique, et que cette ligne atteindra le caractère d'une route internationale très-importante.

Cependant nous devons observer que ces grands intérêts d'un ordre commercial ne dominaient pas dans notre considération et détermination sur la disposition générale de ces grands ouvrages à construire.

Particulièrement lorsqu'il s'agit de nous décider si la traversée projetée du Danube dans ses deux bras devait se faire au moyen de ponts élevés, laissant libre parcours à la navigation entière, ou par des ponts disposés à un niveau plus bas, et

ayant des travées mobiles, nous avons dû nous convaincre qu'il faut en premier lieu considérer le but politique du nouveau chemin de fer, et avant tout son importance stratégique.

La Dobrudja, cette province nouvellement acquise, n'est en communication directe avec le Royaume que d'une manière intermittente; car durant l'hiver, ainsi pendant presque le quart de l'année, ce ne sont que des rapports intellectuels par poste ou télégraphe qui la relient au centre du pays, puisque la communication possible sur les glaces du grand fleuve, qui sépare la Dobrudja des autres provinces de Roumanie, peut à peine servir au commerce ordinaire et ne répond aucunement aux exigences dictées au point de vue stratégique.

La construction du chemin de fer donnera, avec la puissance irrésistible de ce moyen de notre culture moderne, ces rapports continus et intimes qui seuls peuvent nouer étroitement cette nouvelle province au Royaume, et desquels pour les deux, naîtra une confiance mutuelle qui n'existe d'une manière durable que là seulement, où la main protectrice de l'État peut se montrer d'une façon permanente et non-interrompue, ne dépendant jamais d'aucun accident.

Un moyen qui doit servir à un but si élevé et important ne doit, selon notre avis, contenir aucun élément douteux dont l'emploi, dans un moment d'une importance capitale, pourrait faire défaut.

En disposant un, ou plus encore deux ponts tournants sur la ligne du chemin de fer Fetesti-Cernavoda, ce principe serait cependant endommagé, car on ne peut se dissimuler que des travées mobiles d'une portée libre si importante de 50 mètres, comme elles sont fixées par rapport aux besoins de la navigation, n'offrent pas les garanties si nécessaires pour maintenir l'exploitation non-interrompue du service.

Des mécanismes, qui déjà de leur nature et pour les services à rendre, doivent être fort compliqués, et que l'on ne peut dérober aux intempéries des saisons d'une manière complète, sont sujets, dépendant d'ailleurs d'une surveillance humaine, à tant d'accidents, que des interruptions dans l'exploitation ne manqueraient pas, et qui, selon les circonstances, pourraient être d'une durée prolongée.

Ce manque de sûreté qui adhère au principe des ponts tournants, et augmente en rapport de leur portée, peut être, il est vrai, diminué par un système de construction perfectionnée; mais il est impossible de l'éliminer complètement, surtout dans les localités exposées à des excès de température et aux violences des vents si exceptionnels.

L'importance de cette circonstance est illustrée par ce fait statistique que, par exemple dans l'année 1882, seulement aux états unis de l'Amérique, six trains ont été précipités dans des fleuves, par suite des travées mobiles restées ouvertes, faisant abstraction des cas d'interruption du service.

Nous ne croyons pas qu'il nous appartienne de devoir exposer ici une autre circonstance très-importante, qui également parle contre l'emploi des ponts tournants en ce cas, c'est-à-dire, les difficultés occasionnées à la navigation à voiles. Personne plus que l'État Roumain n'est appelé à avoir égard à ces considérations et à sauvegarder ces intérêts, puisque ce tiers de la longueur du Danube navigable pour des bateaux à voiles, se trouve presque exclusivement dans son Royaume, qui en plus domine entièrement sur ces deux rives la partie du grand fleuve, jusqu'où remontent les transports maritimes.

Le mouvement commercial sur le Danube n'a pas encore atteint son entier développement, et la construction d'un pont bas pourrait occasionner de sensibles inconvénients à l'accroissement de la navigation à voiles, car même dans l'état normal

des choses, les bateaux ne perdraient non-seulement toujours du temps en passant le pont, mais souvent aussi, pendant le temps d'arrêt, le vent favorable pour continuer leur route.

Si l'on considère encore qu'avec la disposition des travées mobiles dans un pont bas, l'entretien d'un bateau remorqueur est nécessaire pour faire passer les voiliers, et que par suite d'accidents, toujours possibles, arrivés au mécanisme des ponts tournants, il peut s'en suivre des interruptions prolongées pour la navigation à voiles, tous ces motifs nous semblent suffire pour démontrer aussi au point de vue de la navigation que le système des ponts tournants n'est guère recommandable pour le cas actuel.

Il est vrai que les frais de construction pour des ponts bas, avec travées mobiles, sont en général moindres, que pour les ponts disposés à une hauteur telle, quelle permette le passage aux bateaux à voiles; mais il est entièrement en dehors de notre compétence de juger si l'économie réalisable, peut à elle seule motiver que le passage projeté du Danube soit exécuté de manière à entraver la navigation.

Cependant nous croyons de notre devoir d'exposer ici plus en détail les objections contre l'établissement d'un pont bas avec travées mobiles, surtout dans le bras principal du Danube, et qui sont le résultat de l'étude approfondie que nous avons faite de sa situation hydrologique.

Il est généralement connu que le sol du lit du Danube est sujet, même dans ces parties inférieures du fleuve, à des changements continuels et considérables, que les bancs de sable sont en mouvement, et que le thalweg est souvent déplacé. Dans de telles circonstances, il est évidemment plus qu'incertain, même en disposant aujourd'hui ces travées mobiles dans le thalweg existant, qu'il y restera toujours et il pourrait très facilement arriver, qu'après des hautes eaux les ensablements s'étendissent jusque dans les parties du fleuve où se trouvent ces travées mobiles, rendant ainsi le passage impossible aux bateaux à voiles d'un tirant d'eau un peu considérable, et, s'ils ne dégréent pas complètement.

Des deux exemples suivants, qui se basent sur des faits observés, il résulte combien les hautes eaux changent le sol du lit du fleuve, aussi dans les profils où l'axe des ponts a été tracée par les ingénieurs du Gouvernement.

Le sol du Danube se trouvait, selon le certificat relatif, le 25 Mai 1883, à l'emplacement où nous avons exécuté notre sondage indiqué par le No. 3, à $7._{66}^{m}$ sous l'étiage, tandis que d'après les relevés hydrologiques si parfaits de Sir Charles Hartley des mois d'Octobre et de Novembre 1882, le sol du lit était alors à cet endroit seulement à $3._{20}^{m}$ sous l'étiage; il s'y est produit par conséquent, en six mois, un affouillement local de presque $4._{50}^{m}$.

Le profil relevé dans la Borcea par les ingénieurs du Gouvernement, traçant l'axe du chemin de fer, a donné, à une date ignorée par nous, la plus grande profondeur du lit de ce fleuve à $11._{12}^{m}$ sous le niveau de l'eau indiqué comme basses eaux et identique avec l'étiage du programme, ayant la cote de $17._{11}^{m}$ et correspondant au zéro de l'échelle de Cernavoda.

Un sondage, exécuté par notre ingénieur le 19 Juillet 1883 dans le même profil, donnait le résultat suivant en se servant d'une échelle provisoirement posée pour le but de nos sondages, et dont le zéro se trouve selon un nivellement à la cote de $15._{47}^{m}$:

hauteur de l'eau observée le 19 Juillet 1883 à l'échelle provisoire $+ \quad 4._{55}^{m}$

cote de la hauteur de l'eau du même jour . . . . $15._{47}^{m} + 4._{55}^{m} = 20._{02}^{m}$

ce niveau de l'eau se trouvait par conséquent au dessus de l'étiage

à $20._{02}^{m} - 17._{11}^{m} = 2._{91}^{m}$

La profondeur de l'eau à cette partie la plus profonde du profil à été relevée avec . . . . $19._{00}{}^{m}$

par conséquent le point le plus bas du lit du sol de la Borcea dans l'axe fixée par le Gouvernement était le 19 Juillet 1883 à $19._{00}{}^{m} - 2._{91}{}^{m} = 16._{09}{}^{m}$

sous l'étiage et sous le zéro de l'échelle à Cernavoda.

Le sol du lit de la Borcea s'est donc affouillé en rapport de la situation constatée précédemment, de $16._{09}{}^{m} - 11._{12}{}^{m} = 4._{97}{}^{m}$, c'est-à-dire de près de 5 mètres, et on ne doit pas perdre de vue que les hautes eaux, (environ 6^{m}) qui ont occasionné cet affouillement, ont atteint leur maximum de hauteur déjà au commencement du mois de Juillet et, que depuis, elles étaient tombées d'environ $1._{50}{}^{m}$. Au commencement du mois de Juillet, le sol de la Borcea aura été probablement affouillé à une plus grande profondeur encore, puisqu'il faut admettre que dans la période des eaux baissantes de tels affouillements s'ensablent graduellement.

Ces deux exemples que nous venons de citer peuvent suffire pour donner une idée de la quantité colossale des sables et graviers que ce puissant fleuve amène et déplace par les hautes eaux dans ses deux bras.

En ce qui concerne la Borcea, les données à notre disposition ne suffisent cependant pas pour pouvoir se prononcer d'une manière absolue, si l'on peut s'attendre à ce que le courant principal, c'est-à-dire le thalweg dans le profil de l'axe du projet, se maintienne toujours à la même place. Nous pouvons toutefois admettre qu'il y a quelques probabilités pour une telle supposition, puisque l'eau s'écoule dans la Borcea en un courant unique et que seulement des changements notables dans son courant serpentant, pourraient occasionner un déplacement du thalwag de la rive gauche à la droite ou vice-versa.

La possibilité de tels changements considérables dans la trace du fleuve n'est pas exclue d'une façon absolue, mais il n'y a pas non plus de raisons positives pour devoir s'y attendre.

Pour le grand Danube la situation est tout autre. D'après nos études hydrologiques, que nous exposerons ci-après plus en détail, il est non seulement probable, mais certain que, dans le grand Danube près de Cernavoda, le thalweg ne restera pas à la même place d'une façon durable dans un profil donné du fleuve, et que l'éventualité ne manquerait pas de se présenter que le passage même des petits bateaux à voiles sous le pont bas avec travées mobiles ne pourrait être maintenu que par des travaux de dragages continuels.

En résumant notre appréciation, nous devons dire que le système des ponts bas avec travées mobiles est:

1° du point de vue hydrologique admissible pour la Borcea et non pour le Danube;

2° en égard à la navigation, ce système offre moins d'inconvénients pour le passage de la Borcea, mais l'établissement de ponts tournants sur les deux bras du Danube doit être considéré comme un obstacle préjudiciable à tout développement de la navigation à voiles, et que

3° vu la mission politique du nouveau chemin de fer, on devrait exclure absolument le système des ponts tournants pour le passage des deux bras du Danube.

Selon notre avis la solution complète du problème posé ne peut être autrement obtenue qu'en acceptant des ponts fixes, sans travées mobiles, et disposés à une

hauteur telle qu'elle permette le passage libre et sans entraves aux bateaux de toutes catégories, et cela aussi bien sur le grand Danube que sur la Borcea.

Une solution moins parfaite de la question, et qui offrirait plusieurs difficultés techniques dans son exécution, donnerait une combinaison suivant laquelle le Danube serait passé avec un pont élevé et la Borcea par un pont bas avec travées mobiles.

Une troisième solution que nous ne pouvons cependant pas recommander, mais qui peut-être sera dictée par des motifs économiques, serait l'emploi de ponts tournants pour les deux bras du Danube.

Par la raison que nous ignorons les intentions du Gouvernement au sujet du montant des sommes à disposer pour la construction des ouvrages projetés, et qu'il serait possible aussi que nos vues exposées ici sur l'application des ponts tournants pour le passage du Danube entre Fetesti et Cernavoda ne seraient pas partagées par les autorités compétentes, nous nous sommes décidés d'élaborer quatre projets de ponts d'accord avec nos appréciations ci-dessus développées, composant trois Variantes, lesquelles nous avons étudiées avec le même soin dans tous leurs détails et en apportant aux mécanismes pour les ponts tournants les plus grands perfectionnements; ces Variantes sont:

Variante No. I: Ponts **élevés** sur le Danube et sur la Borcea;
Variante No. II: Pont **élevé** sur le Danube et pont **bas** sur la Borcea avec travées mobiles;
Variante No. III: Ponts **bas** avec travées mobiles sur le Danube et la Borcea.

La quatrième des Variantes possibles, c'est-à-dire, pont tournant sur le Danube et pont élevé sur la Borcea ne pourra évidemment pas être prise en considération, cependant les frais de construction, même de cette combinaison, peuvent être déduits de l'annexe *g* de nos projets („Devis estimatif et Offre de construction") ainsi que pour les autres trois Variantes ci-dessus indiquées.

Les traces de ces trois Variantes du passage du Danube, étudiées par nous, différant plus ou moins l'une de l'autre, nous avons indiqué sur tous les plans de situation les axes et le stationnement, en Kilomètres et fractions, pour chacune, avec des couleurs particulières, savoir pour la Ire Variante en rouge, pour la IIème en vert et la IIIième en jaune, afin de faciliter l'orientation sur les plans.

Exposé hydrologique.

Après avoir dévoloppé, autant qu'il était de notre compétence, les motifs d'une nature générale qui ont une influence sur la disposition de ce grand ouvrage projeté, nous allons maintenant démontrer exclusivement les côtés techniques de la question.

Les constructions à exécuter posent des problèmes dont la solution demande à ce que l'ingénieur y apporte toutes les ressources de son art, et ce seront surtout les considérations du point de vue hydrotechnique qui auront une importance décisive sur le choix des projets pour le passage du Danube.

En effet, si l'on veut entreprendre de jeter un pont sur ce grand fleuve, le premier qui dans sa partie inférieure jusqu'à ce jour ait été construit, il faut bien se rendre compte que l'on a à faire avec un élément, d'un courant et d'une puissance irrésistibles, qui par les hautes eaux s'écoule sur une largeur de plus de 14 kilomètres et que des masses de glaces de dimensions gigantesques viendront se

briser contre les constructions à élever, menaçant de les détruire, ou bien qui en s'entassant jusqu'au sol du fleuve, donneront lieu à des sources de destructions par les affouillements que les eaux amèneront.

Contre les attaques de tels éléments, les coëfficients ordinaires de résistance employés par les constructeurs sont sans pouvoir; n'importe si les ouvrages sont exécutés en maçonnerie ou en fer, ils seront endommagés par la force des eaux, si l'on a commis des erreurs dans l'appréciation de ces questions et dans l'emplacement où le passage doit être disposé.

Ces considérations nous ont amenés à étudier ce grand problème posé, surtout au point de vue des conditions hydrologiques à remplir.

Nous nous sommes d'abord demandé s'il y avait assez de données et de renseignements à notre disposition pour tirer complètement à jour, dans le peu de temps disponible, tout ce qui a trait aux circonstances hydrologiques, et ce qui a rendu possible de le faire, ce sont les études si parfaites que Sir Charles Hartley, chargé par le Gouvernement, a fait exécuter dans le bras principal du Danube près Cernavoda, et des relevés et études que nous-mêmes avons fait faire dans la Borcea et sur l'île de Balta, pour obtenir des renseignements suffisants sur le régime du fleuve dans le profil Cernavoda-Fetesti.

Du profil No. V des relevés de Sir Hartley, (Annexe No. II, fig. 5) il résulte avec une hauteur d'eau de $+ 4._{0}^{m}$ au dessus du zéro de l'échelle à Cernavoda:

la largeur de l'eau dans ce profil . . . . 640^{m}

l'aire de la section transversale du courant . . . . 5925^{m^2}

le périmètre mouillé . . . . $645._{21}{}^{m}$

le rayon moyen $= \frac{5925}{645._{21}} =$ . . . . $9._{183}{}^{m}$

et le volume d'eau débitée par seconde, calculé par Sir Hartley suivant la formule de Buât à . . . . $5810^{\text{mètres cubes}}$

ce qui donne une vitesse moyenne de l'eau par seconde de . . $0._{981}{}^{m}$

La pente relative du niveau de l'eau, dans le rayon de l'emplacement du pont, a été constatée par Sir Hartley par une hauteur d'eau de $+ 4._{0}^{m}$ à $0._{0000425}$, ce qui correspond avec la pente moyenne dans le Danube inférieur.

Quand même il pourrait s'urgir la question, si la formule de Buât employée a fourni le débit d'eau véritable dans le cas actuel, nous ne croyons pas devoir y insister, car il ne s'agit pas ici de chiffres précis, mais, d'une orientation suffisante pour laquelle le volume de l'eau débitée, indiqué plus haut, offre assez de garantie.

Nous avons maintenant à déterminer, le plus exactement possible, le volume des hautes eaux débitées par le Danube, l'île de Balta et la Borcea. Les formules nombreuses qui existent pour calculer la vitesse moyenne des cours d'eau naturels ont pour la plupart le défaut qu'elles ont été établies dans l'intention de les faire servir à des cours d'eau d'un caractère très différent, d'un profil grand et petit et d'une grande et petite vitesse de courant.

Par conséquent si l'on ne veut pas s'exposer à des erreurs graves, il faut choisir une formule empirique qui se rattache le plus possible au cas à analyser, et encore faut-il adapter particulièrement cette formule, en y entroduisant des coëfficients qui se lient étroitement aux données observées. Une formule ainsi modifiée peut alors servir comme vraie expression pour le cas spécial et fournir des résultats assez sûrs.

Dans nos études, nous nous sommes servis de la formule de Hagen, donnant

$$v = 2._{425} \sqrt{R} \sqrt[6]{J}$$

dans laquelle R représente le rayon moyen et J la pente relative. Ce coëfficient

de $2._{425}$ a été établi à la suite de beaucoup d'observations faites sur des rivières en Hollande, en Amérique et sur la Seine.

Si l'on emploie maintenant les données de Sir Hartley, pour obtenir le vrai coëfficient à introduire dans la formule de Hagen qui correspondra au caractère du fleuve dans le rayon du profil Fetesti-Cernavoda, il faut mettre:

$$0._{981} = \alpha \sqrt{9._{183}} \sqrt[6]{0._{0000425}}$$

d'où résulte ce coëfficient recherché à

$$\underline{\alpha = 1._{733}.}$$

Nous allons à la suite nous servir de la formule ainsi modifiée et admettre la vitesse moyenne

$$\underline{v = 1._{733} \sqrt{R} \sqrt[6]{J}}$$

pour les calculs à faire, ce qui nous donnera des résultats d'une exactitude suffisante.

Pour l'étude du régime des hautes eaux, seules les observations sur la hauteur de l'eau étaient à notre disposition, et, pour une première orientation, nous avons comparé les observations relatives, relevées à l'échelle de Cernavoda avec celles de l'échelle de Galatz, et nous nous attendions à ce que les différences entre ces deux observations augmenteraient avec la hauteur des eaux, puisque avec les eaux croissantes la pente totale entre Cernavoda et la mer noire devient plus grande et ainsi aussi entre Cernavoda et Galatz, place qui se trouve environ à moitié chemin.

Nous avons constaté qu'avec des eaux basses et moyennes allant jusqu'à $4._{50}{}^{m}$ au-dessus du zéro, cette différence des observations augmente effectivement à peu près en raison de la hauteur de l'eau; mais, qu'à partir de $+ 4._{50}{}^{m}$ jusqu'à la hauteur des hautes eaux, cette différence reste presque constante et semble même diminuer.

Nous en avons déduit que dans la section du grand Danube entre Cernavoda et Galatz la pente relative des hautes eaux n'est pas plus grande, que pour les eaux moyennes hautes.

Le niveau de l'île de Balta se trouvant à environ $+ 4._{50}{}^{m}$, le fait que nous venons de constater amenait à la supposition que le grand Danube détache de son débit total des masses d'eau qui déjà en amont de Cernavoda se répandent sur la Balta; de sorte que la pente relative près Cernavoda n'augmente pas avec les eaux montantes, mais reste stationnaire.

Pour nous assurer que cette supposition est fondée et pour nous rendre exactement compte du régime des hautes eaux de la section du fleuve qui nous intéresse, nous nous sommes rendus sur les lieux pendant la période des dernières hautes eaux, au mois de Juin, et à cette occasion avons passé sur l'Ile de Balta en barque.

L'observation que nous avons faite a confirmé la supposition ci-dessus exprimée.

Vis-à-vis et en amont aussi bien qu'en aval de Rassova, les hautes eaux du Danube débordent sur la rive gauche dans une longueur de plusieurs kilomètres, déjà à des hauteurs d'eau de moins de $6._{0}{}^{m}$ au-dessus du zéro de Cernavoda et s'écoulent dans la Balta en suivant un cours à peu près vers le nord, puis se réunissent à la Borcea en amont et en aval de Fetesti.

Le niveau de l'île de Balta est presque plat et couvert d'une riche végétation se composant d'herbes sauvages, roseaux, buissons, grands saules et autres arbres. Ces obstacles sont la raison pour laquelle les hautes eaux même de $+ 6._{0}{}^{m}$ passant sur la Balta doivent suivre un cours serpentant, creusant ainsi des canaux naturels de 10 à 20 mètres de largeur et dont le sol est affouillé jusqu'à $3._{0}{}^{m}$ sous le terrain.

Seulement alors quand les hautes eaux dépassent entièrement les quelques ondulations du sol, elles commencent à couler en pleine largeur sur l'île de Balta, avec une pente prononcée vers la Borcea. Ce passage des eaux du grand Danube dans la Borcea ne commence pas seulement à la hauteur de Rassova; aussi dans le cours supérieur ce fait a lieu, mais ces eaux débordantes se joignent à la Borcea bien en amont de Fetesti, ainsi qu'elles passent l'axe du pont, déjà réunies aux eaux de la Borcea dans son courant principal, tandis que les eaux débordant sur les rives du Danube environ au piquet No. 192 (voir plan annexé No. I) passent l'axe du pont projeté sur la Borcea seulement dans sa partie d'inondation de rive droite. Cette eau ensuite, qui s'écoule du Danube sur la Balta, entre le piquet 195 et Cernavoda, ne passe plus sous le pont de la Borcea, mais par la partie de l'île de Balta sur laquelle le chemin de fer qui doit relier ces deux ponts est à construire, ouvrage qui est exclu de notre projet.

La dernière partie des eaux du Danube qui débordent sur la rive gauche en amont de Cernavoda, s'écoule sous les travées disposées sur le terrain d'inondation dans le projet pour le pont élevé sur le Danube, ou bien par la rampe d'accès dans le projet du pont bas tournant, en passant par un viaduc de six travées, disposé pour cet effet et d'une ouverture totale de $303._{40}{}^{m}$.

Nous n'avons pas suivi si en détail cette question en aval de Cernavoda, cependant constaté que la communication des deux bras du fleuve n'a lieu qu'au moyen de plusieurs grands lacs intermédiaires et avec des pentes considérablement réduites, desorte qu'en bas de Cernavoda des volumes d'eau notables ne quittent plus leur lit.

D'après ce qui précède, il faut séparer les hautes eaux passant sur l'île de Balta, dans le profil qui nous intéresse, à leur point culminant de $7._{02}{}^{m}$ au-dessus du zéro, en deux couches superposées, dont la couche inférieure à partir du sol jusqu'au niveau des ondulations du terrain, d'une hauteur d'environ $1._{70}$ mètres, ne fait que remplir les inégalités dans le niveau du sol de la Balta et sa végétation, n'ayant pas de courant prononcé et seulement en partie formant des cours d'eau serpentants, a pour le reste plutôt le caractère d'une eau morte; l'autre couche supérieure des hautes eaux, d'une hauteur d'environ $0._{80}$ mètres, passe l'île de Balta sur toute la largeur en direction diagonale.

La raison naturelle de ce débordement des hautes eaux du grand Danube et leur passage dans la Borcea, s'ensuit facilement des considérations et calculs approximatifs suivants, en nous rapportant en même temps à l'annexe mentionnée No. I.

La Borcea qui se détache du Danube déjà en aval de Silistria, reçoit cependant de nouveau une communication directe avec le bras principal, au moyen d'un bras de 10 kilomètres de longueur, qui se sépare du Danube au piquet Grabali et se jette dans la Borcea en aval de Sokaricin, nivelant ainsi les hauteurs des eaux réciproques.

La réunion de la Borcea avec le Danube principal a lieu en aval de Hiršova au piquet Gramasu.

Entre le piquet Grabali et le piquet Gramasu la longueur du bras principal du Danube est de . . . . 93 kilomètres

la longeur du cours de la Borcea . . . . 78 „

la longeur de Grabali-Cernavoda . . . . 43 „

„ „ „ Grabali-Fetesti . . . . 32 „

il correspond ainsi à la hauteur de Cernavoda un point dans la Borcea qui se trouve à $\frac{43}{93} \times 78 = 36$ kilomètres de distance du piquet Grabali, situé par conséquent à 4 kilomètres en aval du pont près Fetesti; et l'on peut admettre qu'à cet

emplacement indiqué sur la carte avec la lettre *z*, et par les hautes eaux de $+ 7._{02}^{m}$, alors quand les eaux du Danube et de la Borcea sont en communication complète, que le niveau de l'eau à ce point-là sera environ à la même hauteur que celui de Cernavoda, ayant la cote d'environ $24._{13}^{m}$.

La pente moyenne des hautes eaux de la Borcea est, en rapport à celle du bras principal, plus grande dans la proportion de $\frac{93}{78} = 1._{19}$.

A la hauteur de $+ 4._{0}^{m}$ des eaux, la pente relative dans le bras principal du Danube est $J = 0._{0000425}$, et par la raison que pour le niveau de l'eau à partir duquel la différence dans les hauteurs observées aux échelles entre Cernavoda-Galatz n'augmente plus, la pente totale entre ces endroits sur une longueur d'environ 150 kilomètres n'est que $0._{15}^{m}$ plus grande qu'au niveau de $+ 4._{0}^{m}$, il s'en suit que la pente relative des hautes eaux de $+ 7._{02}^{m}$ dans le bras principal du Danube est environ de $\frac{0._{15}}{150000} = 0._{0000010}$ plus grande que pour le niveau de $+ 4._{0}^{m}$, ainsi $= 0._{0000435}$.

La pente relative des hautes eaux de la Borcea résulte par conséquent à $0._{0000435} \times 1._{19} = \underline{0._{0000518}}$.

Un nivellement ordinaire qui a été exécuté pendant des eaux moyennes de la Borcea d'une hauteur de $+ 2._{82}^{m}$, a donné sur la longueur de $4._{8}$ kilomètres en aval de l'axe du pont projeté près de Fetesti, une pente totale de $0._{28}^{m}$; par conséquent une pente relative de $0._{0000583}$.

Nous aurons encore l'occasion d'expliquer cette différence apparente entre le résultat des calculs et ce nivellement; en attendant, nous admettons la supposition que la pente relative se maintienne partout sur les différents bras du Danube et négligeons par conséquent les différences locales.

Le piquet No. 192 se trouve à environ $22._{2}$ kilomètres en amont de Cernavoda; ses hautes eaux ont ainsi la cote de $24._{13} + 0._{0000435} \times 22._{2} = 25._{09}^{m}$ quand les hautes eaux à Cernavoda et au point *z* dans la Borcea se trouvent à la cote de $24._{13}^{m}$, c'est-à-dire à $7._{02}^{m}$ au-dessus du zéro de l'échelle. Il existe par conséquent une différence absolue dans le niveau des hautes eaux entre le piquet No. 192 et le point *z* de $0._{96}^{m}$, et comme la distance des deux points est d'environ $15._{6}$ kilomètres, il s'ensuit une pente relative entre le piquet No. 192 au point *z* de $0._{0000638}$.

Puisque la pente relative des hautes eaux de $+ 7._{02}^{m}$ du Danube est seulement $0._{0000435}$, il est complètement expliqué pourquoi les hautes eaux, du moment qu'elles débordent la rive gauche près de Rassova, et suivant une pente considérablement plus grande, s'écoulent avec une tendance irrésistible vers la direction de Fetesti dans la Borcea, s'y frayant un passage en approfondissant si considérablement le lit de ce fleuve, qu'après les couches de vase et sable, même les couches de gravier ont été en partie enlevées, produisant des affouillements constatés de $16._{0}^{m}$ au-dessous du zéro, et on peut prétendre avec grande probabilité qu'il en existe de plus profonds encore.

De telles circonstances doivent être particulièrement prises en considération et il serait une faute grave de n'en pas tenir assez compte, ou plus encore de les ignorer. Par ce motif, nous croyons nécessaire de continuer l'examen de la situation hydrologique dans le rayon des ponts à construire, aussi au moment des basses eaux.

Pour les basses eaux, toute communication des niveaux d'eau des deux bras du Danube cesse dans la section des fleuves qui nous intéressent et la hauteur des niveaux d'eau, dans ces deux bras, se réglera selon les circonstances particulières de leur courant.

Nous connaissons pour le bras principal, ces relations déterminantes d'une manière assez précise, et pour le niveau d'eau de $+ 4._{0}{}^{m}$, elles sont fixées par les données déjà indiquées plus haut pour la section transversale No. V de Sir Hartley.

En ce qui est de la Borcea, nous avons déjà prouvé que pour ce bras, non seulement la pente relative est plus grande que dans le bras principal du Danube, mais aussi le rayon moyen résultant à $12._{38}{}^{m}$ pour la section transversale selon l'axe tracée par le Gouvernement près de Fetesti et au niveau d'eau de $+ 4._{0}{}^{m}$, tandis que le rayon moyen analogue dans la section transversale citée No. V dans le bras principal du Danube est $= 9._{18}{}^{m}$.

Puisque l'influence de la nature des parois ne différera pas considérablement pour les deux bras, on peut conclure que la vitesse moyenne dans la Borcea doit être plus grande que dans le Danube; que par conséquent, pour chaque mètre cube du volume d'eau écoulée du Danube dans la Borcea, il ne faudrait pour les eaux moyennes près de Fetesti, ou aussi à 4 kilomètres en aval près *z*, où les hautes eaux de $+ 7._{0}{}^{m}$ sont presque à la même hauteur que celles près de Cernavoda, une section transversale du courant, moindre que pour le Danube près Cernavoda.

Dans le cas où le sol du lit de la Borcea ne se trouverait pas, comme il a cependant effectivement lieu, à une profondeur bien plus grande que celle du Danube près Cernavoda, il faudrait que le niveau de l'eau à Fetesti fût considérablement plus bas que le niveau correspondant, dans le bras principal près Cernavoda.

Un calcul approximatif démontrera ce que nous venons de dire.

Pour la section transversale de la Borcea, suivant l'axe tracée par le Gouvernement, laquelle nous avons adoptée pour notre Variante No. II, les données suivantes sont à retenir en raison de nos propres relevées réduites au niveau d'eau de $+ 4._{0}{}^{m}$ (cote $21._{11}$).

	Dans le cours principal de la Borcea	Pour le terrain d'inondation de rive droite
Largeur de la section au niveau de $+ 4._{00}{}^{m}$	$212._{6}{}^{m}$	$475._{0}{}^{m}$
Aire de la section transversale du courant	$2702._{7}{}^{m}\square$	$279._{0}{}^{m}\square$
Perimètre mouillé	$218._{8}{}^{m}$	$476._{0}{}^{m}$
Rayon moyen	$12._{38}{}^{m}$	$0._{586}{}^{m}$

Toujours dans la supposition que la pente relative soit uniforme sur toute la longueur de la Borcea, elle résulte de celle du Danube à $\frac{93}{78}\, 0._{0000425} = 0._{0000506}$, et alors la vitesse moyenne du courant serait d'après la formule $V = 1._{733} \sqrt{R}\, \sqrt[4]{J}$ pour le cours principal

de la Borcea = ... $1._{186}{}^{m}$.

et pour le terrain d'inondation de rive droite . . . . $0._{256}{}^{m}$

On peut très bien admettre que la Borcea débite près de Fetesti environ le même volume d'eau qu'elle contenait à ses deux points de séparation du bras principal près de Silistria et piquet Grabali et que par suite, le rapport des volumes d'eau debitée dans les deux bras ne change pas considérablement pendant le cours le long de l'île de Balta.

S'il existait les mêmes relations hydrauliques pour le volume d'eau débordée dans la Borcea près Fetesti comme pour le Dânube à Cernavoda, il s'écoulerait pour

le niveau de $+ 4._0{}^m$ avec la section transversale du courant $= \dots$ $2702._7{}^m\square$
et la vitesse moyenne du courant . . . . $0._{981}{}^m$
un volume d'eau $= 2702._7 \times 0._{981} =$ . . . . 2651^{m^3}
et le niveau de l'eau resterait également à . . . . $4._{00}{}^m$

au-dessus de l'étiage. Mais par la raison que la vitesse moyenne du courant près Fetesti est $= 1._{186}{}^m$, ce volume débité dans la Borcea n'occupera que la section transversale de $\frac{2651}{1._{186}}$ et le niveau de l'eau tomberait en conséquence et assez pour que le petit volume débité sur le terrain d'inondation de rive droite pût rentrer dans le cours principal.

Ce petit volume d'eau monte à environ $= 279._0 \times 0._{586} = 72$ mètres cubes par seconde, ainsi pour un volume de $2651 + 72 = 2723$ mètres cubes par seconde, la section transversale dans le cours principal de la Borcea devrait contenir $\frac{2723}{1._{186}} = 2297^m\square$.

Le niveau de l'eau tombera pour ce volume débité, en proportion de la différence

$$(2702._7 + 279) - 2297 = 685^m\square.$$

A cette différence de $685^m\square$ dans la section transversale, correspond pour ce profil un abaissement de hauteur de $1._{95}{}^m$ et par conséquent le même jour où l'échelle à Cernavoda marque $+ 4._0{}^m$, on aurait à l'emplacement de hauteur théorique égale dans la Borcea, ainsi au point s $(4._{00} - 1._{95}) = 2._{05}{}^m$, au dessus du zéro de l'échelle fixé à la même hauteur.

Pour l'axe du pont près de Fetesti, cette différence de niveau se réduirait à raison de la pente totale sur la longueur de $4._0$ kilomètres, c'est-à-dire de $4000 \times 0._{0000506} = 0._{20}{}^m$, et monterait par conséquent à $1._{95} - 0._{20} = 1._{75}{}^m$ de sorte que l'échelle près Fetesti marquerait $2._{25}{}^m$ au-dessus de l'étiage, quand on observe à Cernavoda le niveau de $4._0{}^m$.

Ce résultat est confirmé par les faits: Le 24 Juin de l'année courante, nous avons constaté le niveau de l'eau à Fetesti et fait relever par un nivellement sa cote à $21._{14}{}^m$; au même jour l'échelle marquait à Cernavoda $+ 5._{67}{}^m$, ce qui donne à ce niveau

d'eau la cote de . . . . $22._{78}{}^m$

de sorte qu'il s'ensuit une différence pour les niveaux d'eau entre

Cernavoda-Fetesti de . . . . $1._{64}{}^m$

par une hauteur d'eau de $+ 5._{67}{}^m$ à Cernavoda.

Puisqu'il est évident que pour les eaux plus hautes, cette différence se réduit et augmente pour les eaux plus basses, le résultat obtenu par nos calculs établis, pour le niveau plus bas, à l'échelle de Cernavoda, savoir $4._0{}^m$, vient d'être confirmé d'une manière complète.

Pour les basses eaux moyennes, cette différence sera probablement de plus de deux mètres et diminue en rapport de l'augmentation des eaux, jusqu'à ce qu'elle arrive à son minimum aux hautes eaux de $+ 7._{02}{}^m$.

Il s'ensuit aussi que la supposition faite jusqu'ici dans les calculs, que la pente relative soit constante sur toute la longueur de la Borcea, n'a pas lieu, même alors qu'elle est fondée effectivement pour le bras principal.

La pente relative de la Borcea qui est encore au point de sa déviation, égale à celle du Danube, augmente au contraire rapidement et arrive à son maximum, à la moitié supérieure du cours; puis, sa valeur moyenne tombe encore plus bas dans sa partie inférieure où a lieu l'égalisation de sa pente avec le Danube.

Pour les hautes eaux, la pente de la Borcea a plutôt un caractère uniforme; il peut évidemment cependant se présenter des endroits dans ce bras, où la pente relative moyenne est plus grande qu'à la même place pour les hautes eaux, ce qui explique cette différence apparente que nous avons trouvée plus haut, entre la pente moyenne calculée pour les hautes eaux de la Borcea de $0._{0000518}$ et le résultat d'un nivellement exécuté à une hauteur d'eau de $+ 2._{82}{}^{m}$ et qui avait donné $0._{0000583}$.

De tout ce qui précède, il s'ensuit avec certitude que le niveau de l'eau simultané pour les basses et moyennes eaux dans la Borcea à Fetesti et au point z se trouve considérablement plus bas qu'à Cernavoda.

Avec les eaux montantes, cette différence des deux niveaux d'eau diminue et du moment où la communication démontrée des hautes eaux, entre le bras principal et la Borcea sur la Balta a lieu, les hautes eaux dans ce dernier bras du Danube augmentent beaucoup plus rapidement, jusqu'à ce qu'elles arrivent à leur hauteur maxima quand la pleine communication entre les deux bras est établie et que les deux niveaux d'eau se maintiennent à peu près à la même hauteur.

On interpréterait par conséquent mal le sens du programme et ce serait une atteinte à une de ses conditions principales, si l'on voudrait disposer les ponts à un niveau plus bas, par le motif que le niveau des basses eaux à Fetesti, est situé plus bas.

Pour ce point, seulement les hautes eaux sont déterminantes et si l'on veut avoir la table inférieure des poutres du pont élevé sur la Borcea à $30._{0}{}^{m}$ en contrehaut des hautes eaux, il faut la fixer au point z à la cote $54._{125}{}^{m}$, comme pour le pont élevé près Cernavoda.

Pour des emplacements en amont on en aval du point z, le niveau du pont pourrait être placé plus haut ou plus bas en raison de la pente.

Puisque le programme exige, pour l'axe tracée par le Gouvernement à Fetesti, la cote de $54._{125}{}^{m}$ pour la hauteur libre du pont, et que nous avons placé notre pont élevé sur la Borcea au point z, c'est-à-dire à $3._{88}$ kilomètres en aval, nous aurions pu prendre en considération cette différence de niveau et baisser la table inférieure de nos poutres d'environ $0._{20}{}^{m}$, si nous avions voulu interpréter les conditions du programme en notre faveur pour obtenir des frais moindres de construction. Cette différence nous a semblé cependant trop peu importante et nous avons maintenu la cote prescrite.

Un abaissement plus grand serait complètement en opposition avec le programme.

Nous allons maintenant résoudre la question des volumes d'eau débitée par le bras principal du Danube et nous renvoyons à l'annexe No. V sur laquelle est tracée la section transversale hydrologique et géologique de Fetesti-Cernavoda.

En même temps tous les éléments hydrauliques sont indiqués pour les diverses parties de ce profil, comme il résulte des études de Sir Hartley et des nôtres; les vitesses moyennes du courant en ont été déduites au moyen de la formule modifiée de Hagen $v = 1._{733} \sqrt{R} \sqrt[4]{J}$ et ensuite le volume d'eau débitée a été calculé. D'après celà, le volume total d'eau débitée par les hautes eaux dans la section transversale Fetesti-Cernavoda est de 26156 mètres cubes par seconde.

Sir Charles Hartley a indiqué, nous le croyons, pour Ismaïla, le volume d'eau débitée par les hautes eaux du Danube à un million de pieds cubes anglais, ce qui

correspond à 28300 mètres cubes; la différence de 28300 — 26156 = 2144 mètres cubes par seconde peut être attribuée aux affluents du Szereth et du Pruth.

Cette conformité entre ces données est satisfaisante et nous pouvons être assurés que nos calculs sont bien fondés.

Nous exposons maintenant en résumé un tableau des résultats obtenus par nos calculs:

Désignation du cours d'eau	Volume de l'eau débitée au hautes eaux (en mètre cube par seconde)	Volume de l'eau débitée au eaux moyennes (en mètre cube par seconde)	Différence en mètres cubes par seconde	Différence en pour cent du volume débité par les eaux moyennes
Bras principal du Danube	8793	5925	2868	48 %
Courant sur la Balta	10028	—	10028	∞
Borcea	7335	2586	4749	184 %
Ensemble	26156	8511	17645	219 %

On voit par ces chiffres que les deux bras du Danube jouent un rôle différent dans le cas des eaux moyennes hautes (Cernavoda $+ 4._{0}$, Fetesti $+ 2._{25}$) et des hautes eaux de $+ 7._{0}{}^{m}$ dans la section transversale du passage du Danube. Pendant les eaux moyennes, le bras principal du Danube débite près Cernavoda encore presque 70% du volume total des eaux, mais pendant les hautes eaux à peine 30%. Si l'on considère encore que les eaux s'écoulant sur l'île de Balta dans notre profil, viennent toutes du bras principal avec un courant vers la Balta, il faut reconnaître que la Borcea est pour ainsi dire le véritable lit du Danube pour l'écoulement des hautes eaux dans la limite de l'emplacement des ouvrages à construire, tandis que le bras principal du Danube a une importance relativement plus grande seulement pour le débit des eaux moyennes et basses.

Maintenant nous sommes à même de pouvoir déterminer la disposition générale des ouvertures de tous les ponts à construire pour le passage du Danube Fetesti-Cernavoda.

Bien entendu il n'est pas possible d'employer à ce but des formules qui ont pour principe de déduire l'ouverture totale pour un pont, en se basant sur la condition que par suite du remous produit pas les hautes eaux aux piles, le sol du lit du fleuve ne doit pas être attaqué.

Pour un fleuve qui déjà, sans que des piles de pont existent, déforme constamment le sol de son lit, en des proportions si considérables, comme nous l'avons démontré, autant pour le bras principal du Danube que pour la Borcea, il ne se prête aucune formule d'un caractère indiqué ci-dessus.

Dans le cas qui nous occupe et en son espèce, si exceptionnel, il fallait faire abstraction de toute règle de ce genre et suivre une voie particulière.

Dans notre disposition, nous avons toujours obéi au principe qu'un remblai est à éviter partout où les courants de l'eau sur la Balta possèdent des vitesses qui peuvent attaquer le terrain.

La profondeur moyenne des eaux passant en toute largeur sur la Balta est de $0._{80}{}^{m}$ et la vitesse moyenne se calcule à $0._{30}{}^{m}$ par seconde, limite pour laquelle le terrain de cette île n'est plus affouillé. Il y a cependant des endroits où la profondeur moyenne est soit plus grande ou plus petite que sa valeur moyenne, de sorte que les pentes relatives diffèrent pour les divers courants.

Le résultat de ces variations sont encore des différences considérables dans les vitesses avec lesquelles tous ces courants passent sur la Balta dans notre profil; les vitesses de ces eaux sont en général très-petites dans le voisinage du passage du Danube et augmentent à mesure, que l'on s'approche vers la Borcea.

Nous avons par ce motif disposé des remblais seulement à des emplacements où les eaux passant par la Balta n'ont qu'un courant très-peu considérable à la suite de circonstances locales, et avons encore placé dans tous ces remblais des aqueducs pour le passage des eaux de crue sans courant et ayant le but d'égaliser dans des distances convenables le remous produit et de paralyser ainsi toute attaque aux pieds des remblais.

Pour donner passage à tous les autres courants d'une plus grande intensité, nous avons disposé des viaducs d'une ouverture totale complètement suffisante, en calculant pour chacun et sur la base du volume des hautes eaux y prenant leur cours, la profondeur maxima jusqu'à laquelle selon toute probalité les affouillements peuvent arriver. En rapport à cette limite, les profondeurs des fondations ont été déterminées.

Suivant ces principes, la disposition des ouvertures des ponts est resultée de la manière suivante:

A. Rive droite du Danube.

La rive droite se trouve, à l'emplacement des deux ponts étudiés pour ce passage, à $8._{0}{}^{m}$ au-dessus de l'étiage, ainsi à l'abris des hautes eaux.

La disposition des travées pour le passage de cette rive a été par conséquent dictée seulement en consideration de la situation locale et des exigences du raccordement avec le chemin de fer de Cernavoda à Kustendje.

B. Rive gauche du Danube.

Par la raison, que les bords de cette rive ne sont pas fixes et s'écroulent continuellement, nous avons amplement tenu compte d'un élargissement du lit du grand fleuve, en disposant autant pour le projet d'un pont élevé que d'un pont bas, une ouverture de $126._{65}{}^{m}$ de portée libre en plus de ce que la largeur actuelle du fleuve le demande.

La rampe d'accès qui s'y raccorde pourrait être construite en remblai en égard à la situation hydrologique, en disposant dans la Variante du pont élevé, à deux emplacements, et dans la Variante du pont bas, à un seul endroit, des viaducs pour l'écoulement des cours d'eau sur la Balta.

D'après celà nous avons éffectivement raccordé le remblai immédiatement à la culée du pont pour la Variante d'un passage bas, mais pour l'alternative du pont élevé, les considérations d'une économie dans les frais de construction nous ont amenés à continuer le viaduc sur l'emplacement analogue, puisque l'établissement d'un pont ne revient pas plus cher qu'un remblai d'une hauteur en rapport.

L'ouvrage au pied de la rampe d'accès, rive gauche, dans le projet du pont haut ne termine pas par une culée, mais par une pile, puisqu'il sera nécessaire de continuer ce viaduc aussi dans la section du chemin de fer à construire par l'île de Balta, qui n'entre cependant pas dans le cadre de nos propositions à faire.

C. Rive droite de la Borcea.

a) Pont bas, ayant son emplacement dans l'axe fixée par le Gouvernement.

La rampe d'accès à ce pont est située entièrement sur le terrain d'inondation de la Borcea, sur lequel les eaux passent avec une vitesse moyenne de $0._{64}{}^{m}$, ainsi qu'il n'y peut être question de remblais.

Il est également à retenir que les parties contiguës du chemin de fer à niveau horizontal traversant l'île de Balta, et restant en dehors de nos projets, ne doivent pas être construites en remblais, puisque par cette section il passe une partie si considérable des eaux, qu'un barrage s'opposant à leur libre cours occasionnerait un tel remous qui pourrait amener les suites les plus graves.

Le pont sur la Borcea serait sûrement en ce cas endommagé, car si toutefois les eaux retenues par le remblai ne se frayaient pas un chemin en le démolissant, elles s'écouleraient dans le lit de la Borcea, attaquant le pont dans ses fondations même les mieux exécutées.

b) Pont élevé, ayant son emplacement à $3._{88}$ kilomètres en aval du pont précédent.

Des circonstances locales sont cause que les eaux passant sur la Balta à ce point prennent deux directions, et il devient possible de placer un remblai dans la rampe d'accès à l'endroit entre ces deux courants. Pour le reste nous avons projeté des viaducs, et seulement au pied de la rampe, notre travail se termine par un remblai, dont la continuation dans la section horizontale du chemin de fer sur la Balta est limitée par les cours d'eau les plus voisins.

D. Rive gauche de la Borcea.

Un terrain d'inondation ne se présente que dans la Variante du projet pour un pont bas et qui est passé presque entièrement par un viaduc.

Pour la partie contiguë à la côte, nous avons disposé un remblai, puisque l'eau y passant n'a presque plus de courant.

La construction de ce remblai est faite selon le type projeté pour les remblais de l'île de Balta.

Il nous reste maintenant à motiver les axes des ponts que nous avons adoptées.

Sur le plan annexé, No. II nous avons relevé la situation du fleuve et toutes les données qui déterminent le choix des axes pour le passage du Danube à Cernavoda.

Fig. 1 de ce plan montre le lit du fleuve suivant les relevés de Sir Hartley et nous y avons indiqué en teinte bleue le tracé des points situés à $5._{0}{}^{m}$ en dessous du zéro, ce qui correspond presque à la profondeur moyenne de l'eau pendant le temps que ces relevés ont été pris.

La direction du courant principal ou du thalweg à cette époque est clairement demontrée par ce dessin.

Nous avons encore désigné par une teinte bleu foncé les affouillements en direction longitudinale dans le sol du lit du fleuve qui correspondent aux courants existants. Ces affouillements sont indiqués de façon à démontrer les plus grandes profondeurs pour chaque section transversale.

Il résulte de cette démonstration que le Danube s'écoule en deux courants, dans sa partie inférieure aussi bien que dans sa partie supérieure; l'un domine comme courant principal, l'autre n'a qu'une importance secondaire.

En amont de Cernavoda le courant principal se trouve vers la rive droite, le courant secondaire vers la rive gauche; mais en aval de Cernavoda cette situation est renversée, puisque le courant principal change justement de rive dans le rayon de l'emplacement projeté pour le pont.

Au point *H* indiqué dans le plan cité, le courant principal détache un nouveau courant secondaire qui suit la rive droite, et le courant secondaire de rive gauche se réunit au point *E*, au courant principal qui a changé de rive.

Dans la partie de transition *H E* existent par conséquent trois courants, abstraction faite d'un affouillement longitudinal très-profond, indiqué sur le dessin par des hachures et qui peut être regardé comme la résultante des actions des deux courants *D E G* et *F H J*.

Dans les courbes des vitesses (voir annexe II, profils I—VII) se détachent aussi trois maxima, puisque les sections transversales de Sir Hartley se trouvent dans cette partie de transition, tandis que par exemple, il ne peut y avoir que deux de ces valeurs maxima pour les sections transversales *D F* et *G J*.

On ne doit aucunement admettre que le courant principal restera toujours à la même place, où nous le voyons actuellement; il est au contraire à prévoir par suite du caractère du Danube près Cernavoda, que le courant principal occupera en un temps donné cette place, où maintenant, par exemple, se trouve le courant secondaire; en un mot tout changement est possible dans la direction des courants.

Dans la Fig. 2 nous avons reproduit les relevés de Sir Hartley en ce qui concerne la direction des courants à la surface de l'eau; ce tableau permet un jugement complet sur les rapports de la direction de tous les courants avec les diverses axes des ponts projetés.

Il est excessivement difficile de remplir la condition désirable que l'axe du pont traverse tous les courants autant que possible en angle droit. Cependant il existe un emplacement en amont de Cernavoda, où le fleuve est un peu rétréci par la saillie du rocher qui la borde sur la rive droite, et les courants passent en tous les cas cette partie la plus étroite du fleuve en angle droit.

Aussi plus l'axe du pont sera rapprochée de ce point, plus il est certain que le passage du fleuve aura lieu d'équerre.

L'axe provisoire du Gouvernement, qui a été tracée avant que le résultat des relevés hydrologiques fût connu, croise tous les courants à des angles défavorables.

Sir Hartley a placé ses sections transversales déjà davantage à angle droit sur le courant principal; l'axe du Gouvernement s'écarte de la direction de ces sections de presque 15 degrés.

En transférant l'axe de notre pont plus en amont, nous avions connaissance que nous y trouverions des profondeurs d'eau plus grandes, puisque la largeur du niveau de l'eau à l'étiage est de 20^{m} moindre que, par exemple, pour l'axe du Gouvernement.

Nous avons trouvé que les cinq piles en rivière de notre pont élevé exposeraient par les hautes eaux au courant une surface de 980 mètres carrés dans le cas où elles seraient frappées par ce courant sous un angle de 15 dregrés contre leur axe, ce qui aurait lieu pour l'emplacement selon l'axe du Gouvernement, tandis que cette surface exposée se réduit à 575 mètres carrés en plaçant les piles parallèlement à la direction du courant.

A cette différence de 405 mètres carrés correspond à la profondeur de $14._{0}{}^{m}$ des hautes eaux moyennes, une largeur en plus de la section transversale de $29._{0}{}^{m}$.

On obtient par conséquent à l'emplacement proposé par nous, déduction faite de la surface des piles, une section transversale du courant plus grande que pour l'axe du Gouvernement, et il s'ensuivrait pour cette dernière des affouillements plus considérables que pour celle que nous avons projetée et indiquée ci dessus.

Pour le pont bas sur le Danube avec travées mobiles, nous avons dû placer l'axe plus en aval pour des raisons économiques dans la construction de la tranchée à exécuter dans le versant de la montagne bordant la vallée de Cernavoda.

Nous avons adopté pour le pont bas sur la Borcea avec travées mobiles, l'axe tracée par le Gouvernement, puisque ce tracé convient parfaitement pour obtenir le développement nécessaire afin de gagner le plateau supérieur de Fetesti, où le raccordement avec le chemin de fer projeté Bucarest-Fetesti doit avoir lieu.

Enfin l'axe du pont **élevé** sur la Borcea a été transférée en aval entre Fetesti et Stelnica, où nous avons choisi un emplacement qui permet d'exécuter le raccordement avec le chemin de fer projeté Bucarest-Fetesti en suivant un plateau élevé et sans de grands travaux de terrassements, donnant en même temps un passage du fleuve dans de bonnes conditions et qui possède encore l'avantage de raccourcir la longueur de la section du chemin de fer à construire sur l'île de Balta.

MÉMOIRE DESCRIPTIF

DES

PROJETS

POUR LES DEUX GRANDS PONTS

SUR LE DANUBE ET SUR LA BORCEA

SUR LA LIGNE DU CHEMIN DE FER

BUCAREST—FETESTI—DANUBE.

SECONDE PARTIE:

DESCRIPTION TECHNIQUE.

Observations générales.

Deux considérations doivent particulièrement influencer la détermination de la portée des ouvertures pour les ponts dans le fleuve même; d'un côté, les besoins de la navigation demandent des ouvertures d'au moins environ 100 mètres, puisque des portées moindres pourraient présenter des difficultés au passage des bateaux, en égard à la formation et le mouvement des bancs de sable; la seconde considération a rapport à l'économie de construction et déterminera le choix de la disposition, pourvu que les portées dépassent les 100 mètres.

Nous avons établi des calculs exacts pour un grand nombre d'ouvertures afin de déterminer par la comparaison des résultats obtenus, la portée pour laquelle les frais des ponts en rivière sont le moins élevés. En résumé, il a été prouvé que pour les systèmes de ponts, où les fondations des piles ne sont pas exposées à des poussées horizontales, un écartement des piles entre les limites de 125 à 130 mètres, est le plus avantageux.

Pour les systèmes de ponts où des poussées horizontales actionnent sur les fondations des piles, l'écartement des piles le plus avantageux, d'après nos études et pour le cas spécial, se trouve à environ 150 mètres.

Pour le premier cas analysé, nous avons admis des *poutres horizontales en treillis*, reposant sur des piles métalliques, tandis que pour illustrer les autres systèmes, un *pont en arc* a servi de base aux calculs.

La comparaison des frais de construction de ces ponts a démontré qu'un pont en arc de 150 mètres de portée libre ne peut absolument plus entrer en concurrence avec les poutres droites en treillis. Encore faut il prendre en considération que les poutres ayant les tables inférieures en ligne droite, et appuyées sur des piles métalliques, laissent un libre passage aux voiliers les plus hauts sur *toute* l'étendue de leur portée, ce qui a lieu seulement sur des parties restreintes pour les ponts en arc.

Nos développements dans l'exposé hydrologique ont prouvé que la situation du thalweg, c'est-à-dire la route que la navigation doit suivre, n'est aucunement stable, autant dans le Danube que dans la Borcea. Toutes ces considérations démontrent que le système des *poutres en treillis avec les tables inférieures horizontales*, prenant leur appui sur des piles métalliques, est celui qui convient le mieux pour le passage des fleuves mêmes.

Nous avons adopté par conséquent ce système de poutres pour le passage du Danube, prenant un écartement des piles de $128._{15}{}^{m}$ et également pour la Borcea, où cet écartement devait être reduit à $101._{5}$ mètres en raison de sa largeur à l'endroit de l'axe choisie pour ce pont.

Les piles, en leur partie supérieure, métalliques pour le cas d'un pont disposé à la grande hauteur de $30._{0}{}^{m}$ au-dessus des hautes eaux, sont remplacées par des piles entierèment en maçonnerie dans le projet des ponts situés seulement à $10._{0}{}^{m}$ de hauteur.

Pour les viaducs dans les rampes et les ponts d'inondation sur les deux rives, nous avons également recherché le meilleur système de construction.

Les nombreux calculs établis sur la base d'une comparaison entre les systèmes de poutres droites et en arc, et prenant en considération un grand nombre d'ouvertures

ainsi que des hauteurs différentes de piles, selon la déclivité des rampes, ont donné le résultat que les poutres en arc peuvent seulement entrer en concurrence avec les poutres droites, sous le rapport de l'économie de construction dans les parties les plus élevées des viaducs et sur une petite distance.

L'économie dans ces frais est cependant si peu importante, qu'il ne convient pas de changer pour celà le système uniforme des tabliers des ponts d'inondation, pour lesquels par conséquent des poutres droites en treillis ont été adoptées partout, ayant leur appui sur des piles métalliques dans les projets de ponts donnant de grandes hauteurs, et sur des piles entièrement en maçonnerie pour les ponts disposés à un niveau plus bas.

Dans l'élaboration de nos projets, faits, comme nous l'avons déjà mentionné, pour les deux éventualités indiquées dans le programme ministériel, nous avons disposé la hauteur des tables inférieures des poutres droites pour le passage des fleuves dans la première alternative à $30._0^m$ au-dessus des hautes eaux; et dans la seconde alternative, ce niveau est fixé à $11._0^m$ au-dessus des mêmes eaux.

La grandeur de la disposition pour la première alternative est le mieux illustrée par l'annexe No. VI, sur laquelle nous avons dessiné à la même échelle une pile en rivière

du pont reconstruit sur la rivière „Tay“ en Angleterre,

du pont écroulé sur la même rivière et

du pont élevé sur le Danube, près Cernavoda, selon notre projet;

la comparaison donne la juste mesure pour apprécier les énormes proportions de cet ouvrage.

Par suite des grandes hauteurs à donner aux piles, il a fallu dans cette alternative faire abstraction des piles maçonnées sur toute la hauteur, en raison de la charge trop considérable qui en résulterait sur les fondations et les former en deux parties cylindriques, avec un écartement suffisant pour obtenir une stabilité parfaite.

Les piles des ponts bas ont été construites entièrement en maçonnerie et sur une base unique, comme il va être indiqué plus en détail dans la description à suivre de chaque pont.

Les dimensions à donner à ces ouvrages ont été soigneusement calculées. Les charges sur les fondations qui en résultent sont résumées sur le tableau ci-contre.

Les sondages exécutés en si grand nombre ont demontré que des couches de terrain, qui déjà de leur nature offrent toute sécurité pour l'appui des piles et contre les affouillements par les eaux, n'existent pour la plupart pas même à de très-grandes profondeurs.

Nous avons par conséquent déterminé la profondeur des fondations pour tous les ouvrages en rapport à leur situation, à la nature du sous-sol et à la profondeur jusqu'à laquelle pour chaque construction les affouillements peuvent arriver.

Ces profondeurs des affouillements ont été indiquées partout dans les dessins relatifs, donnant le résultat de nos calculs, dont la reproduction ici, conduirait trop loin.

En passant à la description plus détaillée de chaque projet, nous remarquons que, vu la localité où ces grands ouvrages sont à exécuter, il nous a semblé devoir apporter tous nos soins à la parfaite solidité des constructions et de faire abstraction de dépenses qu'occasionnerait une architecture riche et à effet.

Dans les projets pour le passage du Danube et de la Borcea, nous avons décoré seulement les tabliers principaux d'un portal métallique et ornementé.

Résumé des charges sur la base de fondation des piles.

Désignation des ouvrages	Charge totale frottement au pourtour déduit	Surface de la fondation	Charge sur les fondations par mètre carré
	tonnes	mètres carrés	tonnes
Pont élevé sur le Danube:			
Pile en rivière	9247	157.08	58.87
Pile de séparation	5076	95.57	53.11
Pont élevé sur le Danube Piles d'inondation:			
Pile la plus élevée	2846	74.79	37.00
Pile la plus basse	2554	64.34	39.71
Pont élevé sur la Borcea:			
Pile de milieu	9269	157.08	59.00
Piles d'inondation, pont élevé sur la Borcea:			
Pile la plus élevée	3133	74.79	40.88
Pile la plus basse	2161	45.80	45.44
Pont tournant sur le Danube:			
Pile en rivière	6777	112.43	60.00
Culée droite	6882	120.56	57.00
Pile de séparation	5445	96.23	56.00
Pont tournant sur la Borcea:			
Culée gauche	6325	108.84	58.00
Pile centrale	10688	162.88	65.00
Culée droite	6598	103.23	63.00
Raccordement au pont élevé sur la Borcea:			
Pile de milieu. Maxima	905	20.40	44.36
Pile de milieu. Minima	860	20.40	42.18

Pont élevé sur le Danube.

En commençant par la rive droite, et abstraction faite des rampes d'accès, le passage du Danube par un pont élevé est formé en premier lieu par une travée de rive avec construction métallique de $28._0{}^m$ de portée. Le tablier en bois du pont repose sur la table supérieure des poutres au moyen d'entretoises et supports longitudinaux. Les poutres principales ayant un écartement de $3._0{}^m$ d'axe en axe, les trottoirs d'une largeur de $1._0{}^m$, trouvent leur appui sur des consoles latérales.

Séparé de cette travée par une culée en maçonnerie à riche ornementation, le pont principal proprement dit traverse le Danube au moyen de 5 travées horizontales, dont les piles sont distancées l'une de l'autre de $128._{15}{}^m$.

Une sixième travée de la même ouverture, ayant une pente de $10\%_0$ se raccorde à ces dernières; cette travée fait déjà partie du pont d'inondation, mais en égard à un élargissement possible du Danube en cet endroit, elle sera exécutée d'après le type et avec la même longueur de travée que le pont principal.

Le pont d'inondation qui s'y raccorde consiste en dix travées de $62._0{}^m$ d'une pile à l'autre.

La longueur du pont horizontal est de $640._0{}^m$, celle du viaduc de raccordements sur la Balta de $746._4{}^m$, de sorte que la longueur totale de cet ouvrage d'art, la travée de la rive droite comprise, est de $1416._{75}{}^m$.

Les ouvertures en rivière sont couvertes par des tabliers de $126._{65}{}^m$ de portée dont les poutres principales sont demi-paraboliques à cornières verticales et diagonales méplates. La hauteur de ces poutres est de $6._{50}{}^m$ aux abouts et de $16._0{}^m$ au milieu. La hauteur extrême de $6._5{}^m$ permet la continuation du contrevent supérieur jusqu'à l'appui et la pose d'une forte entretoise extrême.

Les poutres principales sont écartées d'axe en axe de $6._{76}{}^m$; elles portent le tablier inférieur du pont, formé par un système de pièces de pont transversales et longitudinales destinées à recevoir la voie au milieu, et deux trottoirs de $1._0{}^m$ chacun, aux côtés. Le planchéiage de ce tablier est établi au moyen de madriers de 50^{mm} d'épaisseur. Les trottoirs latéraux sont séparés de la voie de chemin de fer par des garde-corps de $1._0{}^m$ de hauteur.

Il était nécessaire de placer les trottoirs entre les deux poutres principales pour obtenir en considération de la hauteur des poutres la stabilité suffisante contre le renversement.

La première travée de fleuve à partir de la rive droite trouve un appui solide sur la culée en maçonnerie mentionnée plus haut. Les sommiers des autres travées en rivière reposent sur des piles métalliques d'environ $26._0{}^m$ de hauteur.

La construction de ces piles est indiquée plans No. 34 et 35. Elles s'appuyent dans le niveau de $+ 10._0{}^m$ au-dessus du zéro de l'échelle à Cernavoda ($+ 27._{11}$ au-dessus du plan de comparaison) sur deux troncs de pile, séparés, en maçonnerie et à plan circulaire. L'écartement de ces troncs de pile est déterminé de manière à présenter dans les conditions les plus défavorables, une stabilité absolue contre le renversement. L'ancrage projeté du pieds des piles n'entre en action que lorsque, pendant la construction du pont et alors que le planchéiage ne serait pas encore posé, règnerait un vent d'une intensité maxima de 270 kilogr. par mètre carré de surface normale à la direction du vent. Dans ce cas chacun des deux troncs de pile en maçonnerie devra recevoir l'effort de traction peu important de 2×10 tonnes.

A la tête de la pile se trouvent deux appuis verticaux pour chacune des extrémités des tabliers, qui ont pour but d'empêcher un déplacement latéral du tablier par suite de la poussée du vent.

Nous avons adopté une largeur du pied des piles de $22._{86}^{m}$, mesurée normalement à l'axe du pont.

Les mouvements de dilatation occasionnés par la grandeur de cette dimension nécessitent une construction spéciale des coussinets de l'embase des piles métalliques; disposition que l'on n'aurait pu éviter qu'en réduisant la largeur de cette embase.

Il ne convenait pas de faire cette réduction parce que dans ce cas il aurait fallu recourir à la résistance d'une grande partie de la maçonnerie de la pile, pour obtenir la stabilité du pont, ce qu'on n'aurait pu réaliser qu'au moyen d'ancrages d'une longueur considérable.

Les variations de température ayant une grande influence sur ces ancrages, et les mouvements relatifs des piles métalliques, par rapport aux fondations maçonnées, n'étant pas exclus, cette disposition devait être rejetée au point de vue de la sûreté du pont.

La variation maxima dans la longueur, correspondant à une oscillation de température de —30° à +45° Celsius, est d'environ $\frac{1}{1100}$. La base des piles éprouve donc un changement de longueur de 20^{mm} dans le sens normal à l'axe du pont. L'action d'un mouvement aussi considérable ne peut être imposée aux fondations maçonnées, et la disposition de coussinets de pied mobiles est par conséquent de rigueur. On dispose de deux systèmes pour arriver à ce but: Le premier, généralement adopté pour les tabliers métalliques, consiste dans la disposition d'appuis mobiles sur l'un des troncs de pile et d'appuis fixes sur l'autre. Dans cette construction, les efforts horizontaux, occasionnés par la poussée du vent et la charge mobile, ne sont reçus que par celui des troncs des piles qui porte les appuis fixes.

Cette disposition exigerait un renforcement considérable de ce tronc de pile par rapport à l'autre.

Abstraction faite de ce qu'une différence aussi considérable dans les dimensions des deux troncs d'une pile, n'offre plus de garantie suffisante pour l'uniformité des tassements dans les deux troncs, cette disposition n'est en outre pas rationelle en égard à l'élévation des dépenses.

Il y a lieu de preférence d'adopter un autre système qui répond aux conditions suivantes:

1° Il permet la réception des mouvements des pieds de piles métalliques occasionnés par les variations de température, sans exiger un mouvement inadmissible de la maçonnerie des fondations.

2° Les efforts horizontaux, reportés par les piles sur les fondations sont répartis uniformément sur les deux moitiés des fondations.

3° La transmission de ces efforts horizontaux sur les troncs de piles ne se fait qu'à une certaine distance au-dessous du couronnement de la pile. Cette condition est d'autant plus nécessaire que les coussinets d'appui du pied des piles métalliques, afin d'économiser autant que possible sur le coût des fondations, ont été placés aussi près que possible de l'arrête des troncs de piles circulaires, de sorte que les pierres qui doivent empêcher le déplacement de la construction entière sur les fondations de maçonnerie, ne sauraient recevoir des efforts horizontaux considérables qui se produisent dans le cas présent.

4° Le centre d'action du mouvement des forces produit par la poussée du vent sur les troncs de piles maçonnées se trouve également à une profondeur assez considérable.

On arrive par là à ce que dans les sections supérieures, où la charge du poids mort n'est que relativement petite, la tension dans les arrêtes de la construction, ne dépasse pas le maximum admissible.

Cette disposition, qui répond avec une sûreté suffisante aux conditions ci-dessus, est représentée dans les plans No. 34 et 35 et nous faisons remarquer que ces dessins se rapportent à une pile du milieu du pont sur le Danube.

Comme il l'est indiqué dans ces plans, les quatre pieds du pilier métallique reposent sur des plaques d'appui à articulation qui ne peuvent donc reporter sur la pile que des efforts verticaux.

Les efforts à la compression, reportés par elles, se composent du poids de la construction métallique, de la charge mobile et des efforts verticaux, produits par le moment de la poussée du vent sur le pont, rapporté au couronnement des fondations de la pile.

Afin de protéger les appareils d'appui contre l'influence des glaces, ils seront construits en forme de boites closes. Cette considération a servi de base à la détermination de la forme de la partie inférieure de la pile métallique d'appui, par quoi l'horizontale inférieure a été soustraite à l'action des amoncellements de glace.

La transmission des pressions horizontales se fait au moyen d'une construction encastrée dans les troncs des piles. A cet effet, un puits circulaire d'un diamètre intérieur de $2._{50}{}^{m}$ est ménagé dans les corps du tronc des piles du pont sur le Danube. Un tube composé d'anneaux en fonte est muré dans ce puits et fixé dans les fondations en le rechargeant soigneusement avec du ciment.

Ce tube de puits s'étend depuis le couronnement de la maçonnerie de la pile, qui se trouve à $10._{0}{}^{m}$ en contrehaut des basses eaux, jusqu'à $5._{2}{}^{m}$ au-dessous de ce niveau, de sorte qu'il présente une longueur totale de $15._{2}{}^{m}$.

Dans toute sa longueur le tube est assemblé de manière à être parfaitement étanche d'eau et l'ouverture supérieure en est munie d'une fermeture convenable pour empêcher l'introduction des vagues et des eaux de pluie. Dans la partie inférieure, entre les basses eaux et l'extrémité inférieure, donc sur une hauteur de $5._{0}{}^{m}$, une poutre placée verticalement, en fer laminé à tables parallèles dans la partie inférieure et parabolique dans la partie supérieure, est encastrée à l'aide de cales et d'anneau de serrage, de manière à exclure complètement tout mouvement par rapport au tube de puits. Cette poutre est munie à son extrémité supérieure, comme il l'est indiqué sur le plan No. 35, d'un pivot d'acier, dont la crapaudine, formée d'une calotte du même métal, est assemblée avec les embases des piles au moyen d'un support horizontal. L'assemblage des différentes parties au moyen de cales, est telle, que partout un tassement non uniforme des troncs des piles ne puisse exercer aucune action.

La poutre horizontale mentionnée, assemblant les embases des piles, sert à reporter sur la poutre encastrée la pression exercée par le vent sur le pont, les piles et la charge mobile.

Les quatre conditions déterminées plus haut, auxquelles la poutre encastrée aura à suffire, sont entièrement remplies par la construction que nous venons de décrire.

Les efforts horizontaux sont reportés, dans une distance de $10._{0}{}^{m}$ au-dessous du couronnement des piles, sur la paroi du tube de puits en fonte. Chacun des anneaux du tube consiste dans la partie inférieure où est éffectué l'encastrement, pour les piles, en 6 segments séparés et pour la culée, dans laquelle le tube de puits n'a qu'un diamètre extérieur de $2._{0}{}^{m}$, en 4 segments. Ces segments sont assemblés entre-eux au moyen de boulons et d'anneaux de serrages. La fonction du tube de puits est donc de répartir sur une grande surface de la maçonnerie les efforts de pression reportés au

point de l'encastrement par la poutre verticale, en y supposant que la plus grande partie des efforts de pression produits au point d'encastrement, soit reportée directement, par les anneaux les plus proches, sur la maçonnerie.

La condition principale pour le fonctionnement certain de cette construction de piles est un encastrement suffisamment solide que l'on peut entièrement obtenir par la disposition énoncée ci-dessus.

La pile de séparation entre l'ouverture d'inondation de $126._{65}{}^{m}$ et la première travée de $61._{0}{}^{m}$ de portée est munie, comme les autres piles, dans ses troncs, du même appareil pour la réception des efforts horizontaux; nous ferons remarquer cependant que la pile métallique y demande une construction spéciale, vu qu'elle doit servir comme appui à l'ouverture de $126._{65}{}^{m}$ aussi qu'à celle de $61._{0}{}^{m}$ de portée.

La forme nécessitée par ces circonstances spéciales, est représentée sur le plan No. 35, et il en résulte que la pile consiste en deux systèmes combinés, dont l'extérieur porte au couronnement de la pile les plaques d'appui de la grande ouverture de $126._{65}{}^{m}$, tandis que le système intérieur est chargé au couronnement de la plaque d'appui de la travée de $61._{0}{}^{m}$.

Les piles des viaducs sont, d'après leurs formes extérieures, absolument semblables aux piles du pont principal.

L'inclinaison des parois latérales est constante pour toutes les piles, de manière à donner à l'ensemble une forme agréable à l'œil.

Les troncs de maçonnerie des **piles** du **pont d'inondation** sont munis, à leur couronnement, d'une construction qui, dans son action analogue à celle adoptée pour les grandes piles en rivière, est disposée pour répartir la poussée du vent uniformément sur les deux troncs séparés.

Les embases des piles métalliques reposent toutes sur de simples plaques de glissement, sont réunies par des poutres sur leurs faces de côté qui possèdent au milieu le point d'action d'un levier coudé. Le levier a son point d'appui à la tête d'un tube de puits en fonte, encastré dans la maçonnerie de la pile. Ce tube a pour but de répartir sur une plus grande profondeur les efforts horizontaux actionnant sur un tronc de pile.

Le bras vertical de ce levier s'appuie contre la poutre horizontale mentionnée plus haut. Son bras horizontal porte à son bout un poids en fonte, calculé de façon à ce que l'effort horizontal transmis sur les embases de la pile corresponde à la moitié de la plus grande poussée du vent agissant sur le pont et la pile.

Cette construction à levier est disposée aux deux troncs d'une pile située vers l'intérieur de leurs embases.

Sur chaque tronc de pile, actionne par conséquent un effort horizontal dans la direction vers l'extérieur, pour le cas où le vent n'occasionne pas de poussée. Cet effort horizontal est égal à la moitié de la poussée du vent sur le pont et la pile.

Les variations de longueur de la base des piles par suite des oscillations de température, sont reçues par cette construction sans déranger le fonctionnement du levier coudé.

La poussée du vent, agissant contre le pont, fait glisser la pile un peu sur les plaques d'appui de ses embases, et la poutre horizontale qui réunit les embases de la pile, située sur le côté qui est exposé aux efforts du vent, pousse contre une saillie disposée au tube de puits en fonte, encastré dans la maçonnerie, transmettant ainsi, au tronc de pile relatif, la poussée du vent sur la construction.

Cet effort monte à 77220 kilogr. pour une pile d'une hauteur moyenne de $14._{0}{}^{m}$; la moitié de cet effort, ainsi 38610 kilogr. étant reportée au moyen de la

disposition à levier coudé vers l'extérieur, il résulte une pression de 38610 kilogr. vers l'intérieur de la pile.

L'effort horizontal occasionné au couronnement de l'autre tronc de pile, n'est pas altéré dans sa direction par la poussée du vent.

Pour la direction opposée du vent, les mouvements développés se répètent symétriquement et alors les deux troncs de pile changent de rôle.

En résumé, l'on obtient par cette construction que les troncs de pile sont exposés au même effort maximum, égal à la moitié de la poussée du vent, actionnant sur la construction, et que les mouvements occasionnés par les variations de température ne sont pas nuisibles à la maçonnerie des piles.

La disposition que nous venons d'expliquer est illustrée sur le dessin du plan No. 37.

Les tabliers métalliques des ouvertures du viaduc consistent en poutres principales en treillis de $61._0{}^m$ de portée et qui portent le tablier en bois du pont et les deux trottoirs à consoles, sur leurs tables supérieures.

La transmission de la poussée du vent s'effectue au moyen de deux contrevents fixés aux tables et de 8 entretoises placées dans le plan des diagonales pressées.

Séparé du pont d'inondation, ci-dessus décrit, par un remblai de $1650._{84}{}^m$ de longueur, présentant 2 aquéducs voûtés, chacun de 3 ouvertures à $5._0{}^m$ de portée, pour le passage des eaux de crue sans courant, se trouve, au pied de la rampe d'accès, un pont à 8 ouvertures de $50._0{}^m$ de portée qui sert d'aquéduc pour les eaux des grandes crues. Les poutres principales sont droites, à tables parallèles et à treillis double à barres tendues.

Le tablier en bois repose sur des pièces de pont transversales et des longrines supportant les traverses, fixés à la table inférieure. Les deux trottoirs reposent sur des consoles en encorbeillement en dehors des poutres principales. La longueur totale du viaduc est de $404._{76}{}^m$ entre les appuis extrêmes.

La construction des piles, culées et autres ouvrages d'art, ainsi que des remblais dans les rampes d'accès, est donnée avec tous les détails et dimensions nécessaires dans les plans accompagnant les projets.

Pour la fondation de presque la totalité des piles et culées, des caissons métalliques ont été adoptés, foncés au moyen du système à air comprimé. La maçonnerie supérieure est exécutée au fur et à mesure de l'avancement du fonçage, et à l'abri de hausses métalliques mobiles. Après l'achèvement des maçonneries au-dessus du niveau des hautes eaux, ces hausses mobiles seront enlevées, se servant pour celà d'une disposition particulière.

Les profondeurs des fondations sont cotées dans les plans relatifs et ont été déterminées suivant la situation des ouvrages, en tenant compte de toutes les circonstances.

Le revêtement des maçonneries jusqu'au niveau des hautes eaux est prévu en pierres de taille de granit de Bachna, au-dessus de ce niveau, des pierres de taille et moëllons en calcaire de Hirsova, et sur les faces de quelques ouvrages, il sera employé aussi un revêtement en briques choisies.

La maçonnerie de remplissage consiste en moëllons bruts calcaires et maçonnerie en briques. Les pierres calcaires sont aussi employées à l'intérieur dans les assises massives. Il est prévu pour les maçonneries ordinaires un mortier d'un dosage de 250 kilogr. de chaux hydraulique Lafarge par mètre cube de sable, et pour des cas particuliers, ce dosage séra augmenté. La composition des bétons sera faite de $^1/_3$ de

mortier sur $^{2}/_{3}$ de gravier pour les dosages ordinaires, et de $^{2}/_{5}$ de mortier et $^{3}/_{5}$ de gravier pour les bétons immergés et coulés sous l'eau au fur et à mesure de leur fabrication.

Nous ne croyons pas devoir entrer dans plus de détails, car la meilleure description des ouvrages en maçonnerie sont les plans annexés aux projets en si grand nombre, et les teintes uniformes adoptées dans les dessins pour les coupes, permettent de reconnaître au premier coup d'œil la nature des matériaux et maçonneries employés.

Il est encore à observer que tous les ouvrages d'art ont été calculés par la méthode graphique, dont quelques exemples typiques sont développés sur le plan No. 27.

Pour les tranchées et les remblais, les profils-types indiqués sur le plan No. 21 ont servi de base.

Les remblais pour les rampes, d'accès sur l'île de Balta sont construits selon le profil prescrit par le Gouvernement, également indiqués sur le plan No. 21.

Pour donner un relief particulier à ce passage sur le Danube, construit dans de si vastes dimensions, nous avons cru bien faire en adoptant pour la pile de rive droite une construction imposante et une riche ornementation dans ses parties supérieures, plaçant sur des piedestaux les statues guerrières des Dorobances.

Les extrémités des tabliers métalliques sont décorées aussi bien sur la pile de rive droite que sur la pile intermédiaire, rive gauche, d'un portal richement ornementé et portant les armes du pays.

La longueur totale de ce passage du Danube par pont élevé, les rampes d'accès et raccordements compris, est de $6738._{9}{}^{m}$.

Pont élevé sur la Borcea.

Pour le passage de la Borcea à la hauteur de $30._{0}{}^{m}$ en contrehaut du niveau des grandes crues, un emplacement a été choisi qui se trouve à environ $3._{8}$ kilomètres de distance de celui proposé dans le „programme pour la construction de deux grands ponts".

En commençant de la rive gauche, le pont comprend une ouverture de $61._{0}{}^{m}$ de portée qui traverse l'étroit terrain d'inondation de cette rive et de plus en 2 ouvertures de $100._{0}{}^{m}$ de portée chacune, qui forment le passage du fleuve proprement dit. Sur la rive droite, il se raccorde avec un pont d'inondation de $1301._{0}{}^{m}$ de longueur, formé de 21 ouvertures de $61._{0}{}^{m}$ de portée chacune.

La portée totale de l'ouvrage d'art, les deux ponts d'inondation compris, s'élève à $1564._{75}{}^{m}$ de longueur.

La construction des différents tabliers métalliques est telle, qu'elle a déjà été décrite pour le passage du Danube. Les ouvertures en rivière de $100._{0}{}^{m}$ de portée sont, comme pour le pont élevé du Danube, munies de poutres semi-paraboliques d'une hauteur de $6._{5}{}^{m}$ aux extrémités, et de $14._{0}{}^{m}$ au milieu. La disposition constructive de ces ouvertures est l'image exacte du pont sur le Danube.

Les piles métalliques ont la même forme extérieure que celles du pont élevé sur le Danube.

La construction intérieure des troncs maçonnés des piles est la même, seulement le diamètre des tubes de puits n'est que de $2._{0}{}^{m}$.

Le pilier du milieu du pont de la Borcea a reçu une plus grande largeur d'embase dans la direction de l'axe du pont, pour répondre à la plus grande pression dans le seus longitudinal due à ce que cette pile porte deux appuis fixes du pont proprement dit.

Le travail de l'ancrage des embases des piles est en ce cas plus grand pour la poussée du vent, et les dimensions de l'ancrage adoptées pour le pont élevé sur le Danube ont ici été augmentées en conséquence.

Les piles communes au pont proprement dit et aux deux ponts d'inondation, sont disposées comme la pile de séparation du pont élevé sur le Danube, de manière à ce qu'elles portent en deux étages les plaques d'appui des deux ouvertures contiguës, différentes.

Les piles métalliques du pont d'inondation de la Borcea du côté de l'île de Balta ont exactement les mêmes proportions que celles du pont d'inondation du côté gauche du bras principal du Danube.

Séparé de ce viaduc par un remblai de $811._{60}^{m}$ de longueur qui présente 2 aquéducs voûtés à 3 ouvertures de $5._{0}^{m}$ de largeur chacune pour le passage des crues, un pont d'inondation à 9 ouvertures dont les piles sont écartées de $40._{0}^{m}$ et présentant une portée totale de $359._{40}^{m}$ de longueur, se trouve au pied de la rampe de Borcea, pour servir au passage des courants des grandes crues.

Les poutres principales des tabliers sont, comme celles du viaduc haut, en treillis et supportent le tablier en bois formé de pièces de pont transversales et longitudinales, ainsi que deux trottoirs à consoles en encorbellement, sur leurs tables supérieures.

La transmission de la poussée du vent s'effectue au moyen de 2 contrevents et 8 entretoises placées dans le plan des barres pressées.

Un remblai de $330._{0}^{m}$ de longueur s'y raccorde, en formant le pied de la rampe, et clot les ouvrages ici projetés.

Il est cependant nécessaire de remarquer, que les circonstances hydrologiques exigent la disposition d'un nombre suffisant d'aquéducs et ponts d'inondation dans la section du chemin de fer à construire, entre les rampes des deux grands ponts, sur l'île de Balta, mais qui ne fait pas partie de ce projet, et celà pour permettre l'écoulement des hautes eaux, car autrement les rampes d'accès contiguës des grands ponts pourraient être endommagées.

La construction des piles, culées et autres travaux de maçonnerie est pour ce projet, en tout semblable à celle déjà décrite pour le pont élevé sur le Danube, d'ailleurs ces ouvrages sont illustrés dans tous leurs détails sur les dessins relatifs.

La longueur totale de se passage de la Borcea par pont élevé, les rampes d'accès et raccordements compris, est de $7633._{75}^{m}$.

Pont bas sur le Danube avec travées mobiles.

En commençant de la rive droite, le pont bas sur le Danube avec travées mobiles, établi à une hauteur de $11._{00}^{m}$ en contrehaut du niveau des grandes crues, et prévue dans le „programme pour la construction de deux grands ponts“, est formé par 2 ouvertures de $50._{00}^{m}$ de portée, avec tablier en bois fixé sur les tables inférieures, formant passage en dessus sur les voies existantes près de Cernavoda, auxquelles se

raccordent 2 ouvertures en rivière de $126._{65}{}^{m}$ et de $124._{65}{}^{m}$ de portée et puis, dans l'emplacement le plus convenable à cet effet, un pont tournant à 2 travées de $50._{00}{}^{m}$ d'ouverture, et enfin 3 ouvertures de $126._{65}{}^{m}$ de portée chacune, dont la dernière se trouve déjà sur la pente de $10^{0}/_{00}$.

La portée totale de cet ouvrage entre les deux culées est donc de $856._{13}{}^{m}$.

Séparé de cet ouvrage par un remblai de $369._{84}{}^{m}$ de longueur, contenant un aquéduc à 3 ouvertures de $5._{0}{}^{m}$ de largeur pour le passage des eaux des crues sans courant, un pont à 6 ouvertures de $50._{0}{}^{m}$ de portée avec tablier en bois sur les tables inférieures, servant à l'écoulement des grandes crues, se trouve au pied de la rampe de rive gauche.

La construction du pont fixe est la même que celle du pont élevé sur le Danube. Tous les tabliers métalliques reposent sur des piles entièrement en maçonnerie, de sorte que les piliers métalliques avec leurs constructions accessoires sont tout-à-fait éliminés.

Les dimensions exeptionelles du pont tournant ainsi que la poussée du vent particulièrement considérable nécessitaient une construction spéciale, qui s'écarte des formes usitées. La disposition récommandée par Schwedler et fréquemment employée, a été prise pour base.

On sait, que ce système consiste en ce que, le pont étant fermé, les poutres principales reposent sur 3 appuis, dont 2 sont appliqués sur les piles extrêmes et le troisième sur la pile-tourillon.

La plaque d'appui du milieu s'écarte un peu du centre de gravité du pont entier qui correspond à peu près avec le pivot. Pour ouvrir le pont, l'une des extrémités du pont est soulevée au moyen d'un verrin appliqué au pilier extrême, afin de pouvoir déplacer par un appareil disposé à cet effet, la plaque d'appui extrême. Cela fait, l'extrémité du pont devenu libre par cette manipulation, est abaissée; ce mouvement s'effectue par la rotation sur l'appui fixe du milieu, jusqu'à ce que le pont repose sur le pivot, et à la suite de cet abaissement de l'extrémité du pont, s'effectue la rotation sur le pivot. Après cet abaissement le pont se détache d'abord de l'appui fixe du pilier du milieu et ensuite de l'appui extrême de l'autre côté du pont.

La descente sera accomplie dès que le pont reposera sur un galet d'appui qui se trouve dans l'axe du pont, entre le pivot et celle des extrémités du pont à laquelle le cric est appliqué.

Par suite d'un contre poids de 450 kilogr. appliqué à l'extrémité du pont, le galet d'appui est chargé de 5360 kilogr. Ce galet a pour but d'empêcher les oscillations longitudinales pendant l'ouverture du pont, qui se produiraient certainement si le pont n'était tenu en balance que par le pivot. Les oscillations latérales sont transmises à deux roues de balance appliquées normalement au pont, à côté du pivot. Cette transmission s'effectue au moyen d'appareils à ressorts, formés chacun par 16 spirales de ressorts de 5100 kilogr. de force. Ces 2 roues suffisent aussi pour transmettre au pilier une poussée de vent jusqu'à l'intensité de 61 kilogr. par mètre carré.

Si la poussée du vent dépasse cette intensité le pont étant ouvert, l'inflexion des spirales de ressort est si grande, qu'une construction latérale d'appui entre en action, et transmet le moment créé par la poussée du vent sur une série de galets disposés circulairement, avec l'engrénage du mécanisme de rotation dans le pourtour du pilier-tourillon en maçonnerie.

Cette disposition indiquée sur les plans No. 44 et 45 empêche le renversement du pont, même pour l'intensité maximale du vent, sans rendre impossible l'ouverture.

Les mécanismes pour l'ouverture et la fermeture du pont, ainsi que pour le soulèvement de l'extrémité du pont seront desservi par la main d'homme.

Non seulement il ne convient pas, mais il serait même dangereux de desservir ces mécanismes par des machines hydrauliques ou à vapeur, en vue des températures très-basses qui se produisent, de la situation isolée du pont et des interruptions de service, qui ont lieu avec ce moyen plus facilement qu'en adoptant la main d'homme.

Le mécanisme pour soulever l'extrémité du pont demande 2 ouvriers, qui peuvent réaliser le soulèvement et l'abaissement en 8 minutes.

Pour ouvrir le pont pendant un vent faible de 35 kilogr. d'intensité il suffit de 2 hommes qui peuvent effectuer l'ouverture en 15 minutes. Un vent d'une grande intensité jusqu'à 150 kilogr. exige le travail de 4 hommes, qui peuvent ouvrir le pont en 18 minutes.

Le pont étant fermé, sa position est assurée au moyen de clavettes fixées à ses deux extrémités et en raccordement avec des signaux, qui ne peuvent donner le signal „passage libre" que lorsque ces clavettes sont posées et que la position du pont est parfaitement assurée.

Quant au tablier métallique du pont tournant, le système des poutres est le même comme pour les travées à grande portée du pont fixe. Les poutres sont semi-paraboliques et portent le tablier en bois sur les tables inférieures, droites. Les hauteurs de la paroi des poutres concordent avec celles des poutres des grandes travées contiguës au pont sur le Danube, et s'élèvent aux appuis extrêmes à $6._{5}^{m}$ et au pilier-pivot du milieu à $16._{0}^{m}$, mésurées entre les centres de gravité des tables. Les poutres sont à double treillis avec verticales comprimées et barres tendues. La construction du tablier en bois est par suite du même écartement des points d'assemblage ($5._{0}^{m}$) absolument identique avec celle des travées fixes.

Pour l'appui du pont sur le pivot central, 4 montants sont disposés au milieu du pont, ainsi que 4 entretoises écartées de $1._{5}^{m}$, $2._{0}^{m}$ et $1._{5}^{m}$. Ces entretoises sont reprises en sous-oeuvre par deux forts supports, fixés au moyen de 4 étriers de suspension en acier à la couronne de pression reposant sur le pivot. Ces deux dernières parties sont également en acier.

Deux poutres horizontales encastrant la couronne de pression et coincées contre cette dernière, servent à transmettre sur le pivot la réaction horizontale de la poussée du vent, agissant sur la construction du pont. Cette couronne de pression est construite de manière à reporter les efforts horizontaux sur le pivot, sans empêcher le détachement vertical de la construction, du pivot lors de la fermeture du pont.

Le point le plus haut du pivot est à $1._{5}^{m}$ en contrebas de l'horizontale menée par les appuis extrêmes et l'appui du milieu dont la hauteur peut être réglée.

La surface de roulement de la roue d'appui est de 12^{mm} plus haute que cette horizontale. L'inflexion des extrémités libres du pont se monte à 86^{mm} du côté de la roue d'appui et à 114^{mm} de l'autre côté.

Pour obtenir la rotation, l'une des extrémités du pont doit être baissée de $86^{mm} + 128._{8}^{mm} = 214._{8}^{mm}$, l'extrémité opposée s'élève alors de $11._{8}^{mm}$ et l'appui fixe du milieu de $2._{6}^{mm}$.

Ce jeu est suffisant pour obtenir la rotation; nous avons cependant prévu un abaissement, soit une élévation possible jusqu'à concurrence de 245^{mm}, en donnant à la manivelle d'excentrique un rayon de 280^{mm}, et en rendant possible de régler la hauteur du galet d'appui.

Les *piles et culées* pour ce pont bas sur le Danube sont *entièrement en maçonnerie*; le principe et les détails de leur construction ainsi que des rampes d'accès résultent des plans relatifs. Quant à la profondeur de fondation pour ces

ouvrages, elle a été déterminée en rapport de leur situation et du sous-sol, dont la nature est demontrée, par le résultat des sondages exécutés.

Le tableau annexé à la description générale donne en résumé la réaction exercée sur les piles, leur poids et la charge totale, répartie sur la surface inférieure de fondation.

Les extrémités des tabliers sur la pile de rive droite et sur la culée contre le remblai intermédiaire, rive gauche, sont décorées par un portal métallique richement ornementé.

La longueur totale de ce passage sur le Danube par pont bas, les rampes d'accès et raccordements compris, est de $2890._0{}^m$.

Pont bas sur la Borcea avec travées mobiles.

Le pont bas sur la Borcea traverse le fleuve et les terrains d'inondation avoisinants conformément au programme à une hauteur de $11._0{}^m$ au-dessus du niveau des grandes crues.

Ce pont est ainsi disposé, qu'en commençant de la rive gauche de la Borcea viennent d'abord 4 ouvertures de $61._0{}^m$ de portée avec poutres en treillis, le tablier en bois sur les tables supérieures, et il s'y raccorde un pont tournant à 2 travées de $50._0{}^m$ d'ouverture.

Ce pont tournant avec une ouverture contiguë de $100._0{}^m$ de portée représente le passage du fleuve proprement dit. En raccordement avec ce passage, est disposé du côté droit le pont d'inondation sur l'île de Balta, présentant 4 ouvertures de $61._0{}^m$ de portée, à tablier en bois sur les tables supérieures et 13 ouvertures de $50._0{}^m$ avec tablier en bois sur les tables inférieures.

La portée totale de l'ouvrage, entre la culée gauche et le pied de la rampe est de $1371._{77}{}^m$. Tous les tabliers métalliques reposent, comme pour le passage bas du Danube sur des piles et culées en maçonnerie.

Ces ouvrages sont construits de la même manière comme pour ce dernier pont, ainsi on peut s'y rapporter pour leur description et celle des rampes d'accès.

Aussi la construction des différentes travées est la même que pour les autres passages analogues et dont la description a déjà été faite.

La longueur totale de ce passage sur la Borcea par pont bas, les rampes d'accès et raccordements compris, est de 7836 mètres.

En ce qui concerne le montage des tabliers métalliques pour les ouvertures en rivière et qui exige une grande sûreté, notamment pour les ponts disposés à une si grande hauteur, il y a lieu de remarquer que ces tabliers seront montés sur un échaffaudage érigé sur la rive, que les tabliers montés seront transmis de l'échaffaudage fixe sur un échaffaudage flottant, au moyen duquel ces tabliers seront transportés à l'emplacement des ouvertures relatives et élevés sur les piles par des appareils hydrauliques.

LISTE DES ANNEXES

ACCOMPAGNANT LES

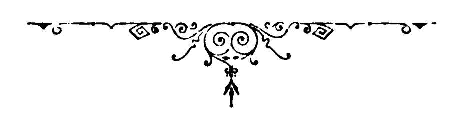
PROJETS

POUR LES DEUX GRANDS PONTS

SUR LE DANUBE ET SUR LA BORCEA

SUR LA LIGNE DU CHEMIN DE FER

BUCAREST—FETESTI—DANUBE.



LISTE DES ANNEXES

accompagnant les projets:

Lettre de présentation des projets à Son Excellence Monsieur le Ministre des Travaux Publics de Roumanie, datée du 29 Août 1883

avec la

Liste des Annexes accompagnant les projets (les annexes sont contenues dans quatre portefeuilles).

Ier **Portefeuille** (petit format):

a) Copie de la lettre à Son Excellence Monsieur le Ministre des Traveaux publics, datée du 22 Février 1883.
b) Trous de sondages, exécutés dans le Danube et la Borcea, et controlés par l'Ingénieur du Gouvernement.
c) Mémoire descriptif avec huit annexes.
d) Description technique.

IIme **Portefeuille** (petit format):

e) Calculs des superstructures et piles métalliques.
f) Justification sommaire des quantités et prix d'unités.
g) Devis estimatif et Offre de construction.

IIIme **Portefeuille** (grand format):

Plan No. 1. Plan général du passage projeté du Danube Fetesti-Cernavoda.
„ „ 2. Profils en long sommaires, pour le passage du Danube Fetesti-Cernavoda.
„ „ 3. Projet pour le grand pont sur le Danube près Cernavoda. (Vue en perspective.)
„ „ 3^a. Reproduction photographiée de la même.
„ „ 4. Projet pour le Pont bas sur la Borcea près Fetesti. (Vue en perspective.)
„ „ 4^a. Reproduction photographiée de la même.
„ „ 12. Élévation générale et plan du pont **élevé** sur le Danube avec le pont de décharge (côté gauche) et le pont de rive (côté droit).
„ „ 13. Élévation générale et plan du pont **bas** sur le Danube avec travées mobiles et pont de rive (côté droit).
„ „ 14. Élévation générale et plan du pont **élevé** sur la Borcea avec le pont de rive (côté gauche) et le pont de décharge (rive droite).
„ „ 15. Élévation générale et plan du pont **bas** sur la Borcea avec travées mobiles et pont d'inondation sur les deux rives.

IVme **Portefeuille** (petit format):

Plan No. 5. Situation. — Pont sur le Danube avec raccordements.

„ „ 6. Profil en long du pont **élevé** sur le Danube, avec les deux raccordements.

„ „ 7. Profil en long du pont **bas** à travées mobiles sur le Danube avec les deux raccordements correspondants.

„ „ 8. Situation pour le pont **élevé** sur la Borcea avec raccordement.

„ „ 9. Profil en long du pont **élevé** sur la Borcea avec les deux raccordements correspondants.

„ „ 10. Situation pour le pont **bas** sur la Borcea avec raccordements.

„ „ 11. Profil en long du pont **bas** sur la Borcea à travées mobiles avec les deux raccordements correspondants.

„ „ 16. Rampe d'accès (rive gauche) au pont **élevé** sur le Danube. — Élévation générale et plan d'un pont métallique en treillis.

„ „ 17. Rampe d'accès (rive gauche) au pont tournant sur le Danube. — Vue générale et plan d'un pont métallique en treillis.

„ „ 18. Rampe d'accès (rive droite) dans le raccordement, avec le pont **élevé** sur la Borcea. — Élévation générale et plan d'un pont métallique en treillis.

„ „ 19. Les courants du Danube près de Cernavoda aux mois d'Octobre et de Novembre 1882, déduits des levées exécutées par Sir Charles Hartley.

„ „ 20. Section transversale hydrologique et géologique pour le passage du Danube entre Fetesti-Cernavoda.

„ „ 21. Profils-types pour les tranchées et les remblais dans le raccordements avec les ponts principaux sur les deux bras.

„ „ 22. Les entrées des ponts **élevés** sur le Danube et la Borcea.

„ „ 23. Types pour les ouvrages d'art dans le raccordement de la rive droite avec le pont **élevé** sur le Danube.

„ „ 24. Pont **élevé** sur le Danube. — Détails de la culée de la travée de rive (côté droit) et de la tranchée en rocher attenante, avec descente.

„ „ 25. Pont **élevé** sur le Danube. — Détails de la pile de rive (côté droit).

„ „ 26. Pont **élevé** sur le Danube. — Détails des piles et culées des travées principales et du pont de décharge (côté gauche).

„ „ 27. Epure statique pour les piles du pont **élevé** sur le Danube.

„ „ 28. Rampe d'accès (rive gauche) au pont **élevé** sur le Danube. — Types des aquéducs de décharge des eaux de débordement sans courant.

„ „ 29. Rampe d'accès (rive gauche) au pont tournant sur le Danube. — Détails des piles et culées du pont en treillis.

„ „ 30. Plan de la superstructure métallique pour la travée de $28._{00}^{m}$ (rive droite) du pont **élevé** sur le Danube.

„ „ 31. Plan de la superstructure métallique pour les travées principales de $126._{65}^{m}$ du pont **élevé** sur le Danube.

„ „ 32. Plan de la superstructure métallique. — Pont en treillis de $61._{0}^{m}$ de portée, tablier au haut des fermes.

„ „ 33. Plan de la superstructure métallique. — Pont en treillis de $50._{0}^{m}$ de portée, tablier au bas des fermes.

„ „ 34. Plan de la charpente métallique. — Pile. — Support métallique et charpente métallique.

„ „ 35. Plan de la charpente métallique pour les piles.

„ „ 36. Plan de la superstructure métallique pour les piles des ponts de décharge. — Types pour les piles métalliques des ponts de décharge. — Epures des piles pour le pont de décharge du pont **élevé** sur le Danube.

„ „ 37. Plan de la superstructure métallique des piles des ponts de décharge. – Construction aux pieds des piles pour la répartition de la poussée du vent sur les deux troncs des piles des ponts de décharge.

„ „ 38. Types pour les ouvrages d'art dans le raccordement de la rive droite avec le pont tournant sur le Danube.

Plan No. 39. Dessin des piles pour la travée (rive droite) du pont tournant sur le Danube.

„ „ 40. Détails des piles et culées du pont sur le Danube, avec travées mobiles.

„ „ 41. Rampe d'accès (rive gauche) du pont élevé sur le Danube. — Types des aquéducs de décharge des eaux de débordement sans courant.

„ „ 42. Rampe d'accès (rive gauche) au pont élevé sur le Danube. — Détails des piles et culées du pont en treillis d'un débouché total de $404._{76}{}^{m}$.

„ „ 43. Plan de la superstructure métallique pour le pont tournant. Bowstring de $114._{0}{}^{m}$ de portée totale.

„ „ 44. Plan de la superstucture métallique pour le pont tournant. — Mécanismes sur la pile centrale.

„ „ 45. Plan de la superstructure métallique pour le pont tournant. — Mécanismes du côté de descente sur le pont tournant.

„ „ 46. Pont élevé sur la Borcea. — Détails des piles et culées des travées principales et du pont de décharge (côté gauche).

„ „ 47. Rampe d'accès (rive droite) au pont élevé sur la Borcea. — Détails des piles et culées du pont métallique d'un débouché total de $359._{40}{}^{m}$.

„ „ 48. Rampes d'accès (rive droite) au pont élevé sur la Borcea. — Types des aquéducs de décharge des eaux de débordement sans courant.

„ „ 49. Plan de la superstructure métallique pour les travées principales du pont élevé sur la Borcea. Bowstring de $100._{0}{}^{m}$ de portée, tablier au bas des fermes.

„ „ 50. Plan de la superstructure métallique pour le pont de décharge de la rampe d'accès (rive droite) du pont élevé sur la Borcea.

„ „ 51. Plan de la superstructure métallique pour les piles des ponts de décharge. — Epure des piles pour le pont de décharge du pont élevé sur la Borcea.

„ „ 52. Dessins des piles pour le pont bas sur la Borcea avec travées mobiles. — Pile-culée gauche du pont tournant. — Pile centrale. — Pile-culée droite du pont tournant. — Pile de séparation (rive droite).

„ „ 53. Pont bas sur la Borcea avec travées mobiles. — Détails des piles et culées des ponts de décharge.

„ „ 54. Types pour les ouvrages d'art dans le raccordement de la rive gauche au pont tournant sur la Borcea.

IVme **Portefeuille** (petit format):

Plan No. 5. Situation. — Pont sur le Danube avec raccordements.
„ „ 6. Profil en long du pont **élevé** sur le Danube, avec les deux raccordements.
„ „ 7. Profil en long du pont **bas** à travées mobiles sur le Danube avec les deux raccordements correspondants.
„ „ 8. Situation pour le pont **élevé** sur la Borcea avec raccordement.
„ „ 9. Profil en long du pont **élevé** sur la Borcea avec les deux raccordements correspondants.
„ „ 10. Situation pour le pont **bas** sur la Borcea avec raccordements.
„ „ 11. Profil en long du pont **bas** sur la Borcea à travées mobiles avec les deux raccordements correspondants.
„ „ 16. Rampe d'accès (rive gauche) au pont **élevé** sur le Danube. — Élévation générale et plan d'un pont métallique en treillis.
„ „ 17. Rampe d'accès (rive gauche) au pont tournant sur le Danube. — Vue générale et plan d'un pont métallique en treillis.
„ „ 18. Rampe d'accès (rive droite) dans le raccordement, avec le pont **élevé** sur la Borcea. — Élévation générale et plan d'un pont métallique en treillis.
„ „ 19. Les courants du Danube près de Cernavoda aux mois d'Octobre et de Novembre 1882, déduits des levées exécutées par Sir Charles Hartley.
„ „ 20. Section transversale hydrologique et géologique pour le passage du Danube entre Fetesti-Cernavoda.
„ „ 21. Profils-types pour les tranchées et les remblais dans le raccordements avec les ponts principaux sur les deux bras.
„ „ 22. Les entrées des ponts **élevés** sur le Danube et la Borcea.
„ „ 23. Types pour les ouvrages d'art dans le raccordement de la rive droite avec le pont **élevé** sur le Danube.
„ „ 24. Pont **élevé** sur le Danube. — Détails de la culée de la travée de rive (côté droit) et de la tranchée en rocher attenante, avec descente.
„ „ 25. Pont **élevé** sur le Danube. — Détails de la pile de rive (côté droit).
„ „ 26. Pont **élevé** sur le Danube. — Détails des piles et culées des travées principales et du pont de décharge (côté gauche).
„ „ 27. Epure statique pour les piles du pont **élevé** sur le Danube.
„ „ 28. Rampe d'accès (rive gauche) au pont **élevé** sur le Danube. — Types des aquéducs de décharge des eaux de débordement sans courant.
„ „ 29. Rampe d'accès (rive gauche) au pont tournant sur le Danube. — Détails des piles et culées du pont en treillis.
„ „ 30. Plan de la superstructure métallique pour la travée de 28,[illegible] m (rive droite) du pont **élevé** sur le Danube.
„ „ 31. Plan de la superstructure métallique pour les travées principales de 126,[illegible] m du pont **élevé** sur le Danube.
„ „ 32. Plan de la superstructure métallique. — Pont en treillis de 61,[illegible] m de portée, tablier au haut des fermes.
„ „ 33. Plan de la superstructure métallique. — Pont en treillis de 50,[illegible] m de portée, tablier au bas des fermes.
„ „ 34. Plan de la charpente métallique. — Pile. — Support métallique et charpente métallique.
„ „ 35. Plan de la charpente métallique pour les piles.
„ „ 36. Plan de la superstructure métallique pour les piles des ponts de décharge. — Types pour les piles métalliques des ponts de décharge. — Epures des piles pour le pont de décharge du pont **élevé** sur le Danube.
„ „ 37. Plan de la superstructure métallique des piles des pon[illegible] décharge. — Construction aux pieds des piles pour la [illegible]tition de la poussée du vent sur les deux troncs des piles de décharge.
„ „ 38. Types pour les ouvrages d'art dans le raccordemen[illegible] droite avec le pont tournant sur le Danube.

Gebrüder Klein, A. Schmoll & E. Gaertner

à Vienne.



Projet

GRAND PONT

PRÈS CE

Gutehoffnungshütte *Société anonyme*
Oberhausen II (Prusse Rhénane).

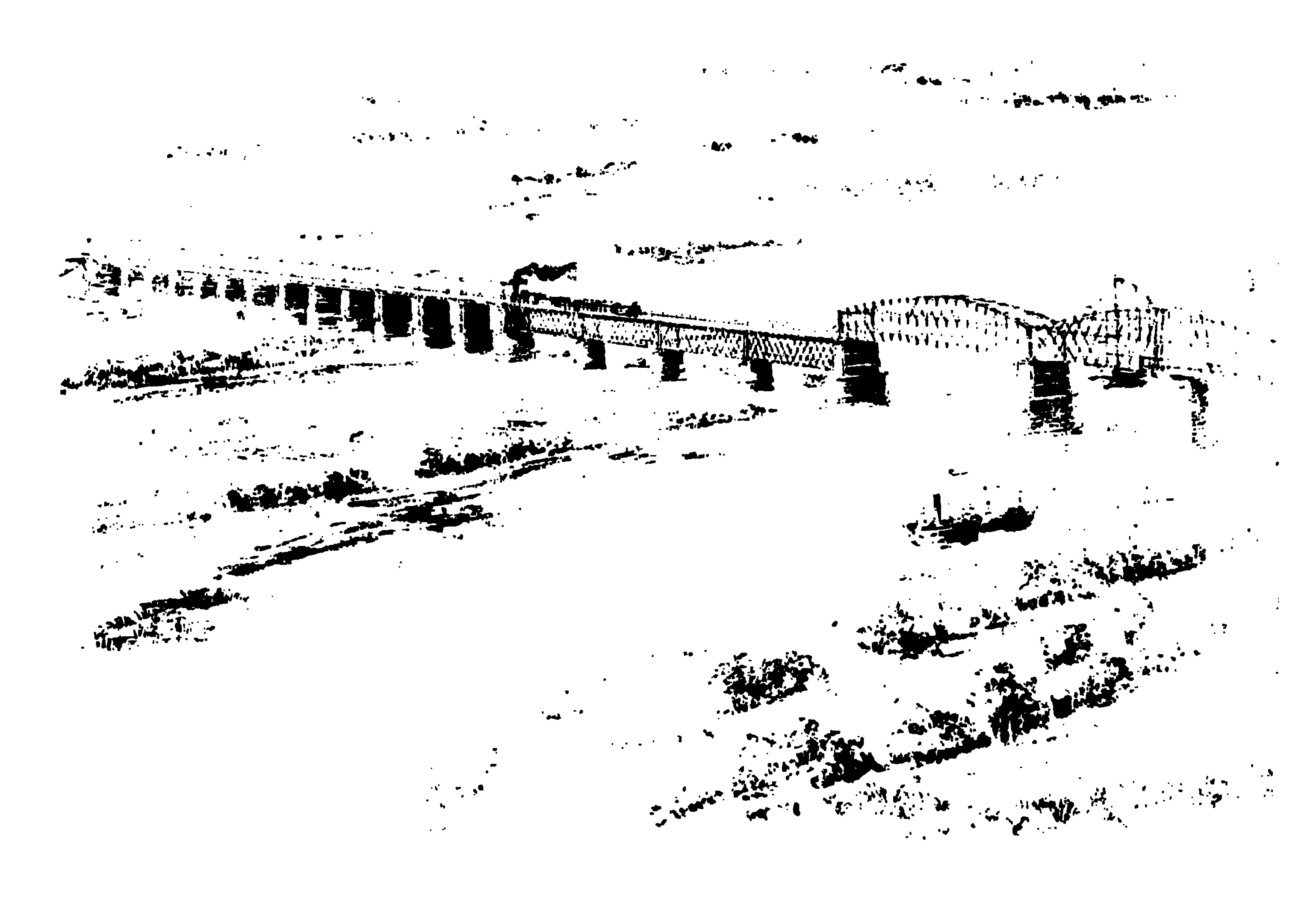


pour le

SUR LE DANUBE

ℨNAVODA.

Gebrüder Klein, A. Schmoll & E. Gaertner
à Vienne.



Projet p

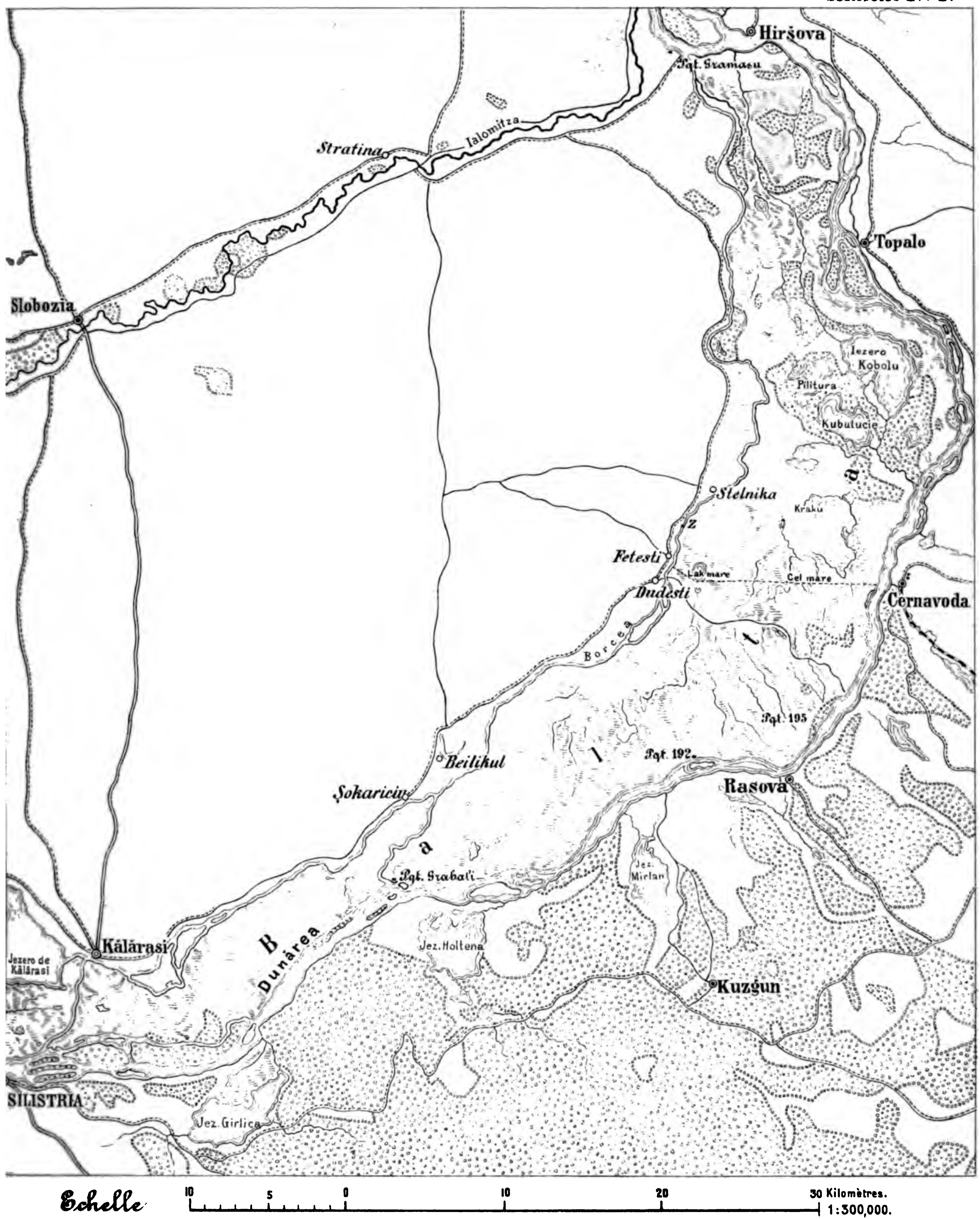
PONT BAS SUR LA BO

AVEC TRAVÉ

Gutehoffnungshütte Société anonyme
Oberhausen II (Prusse Rhénane).



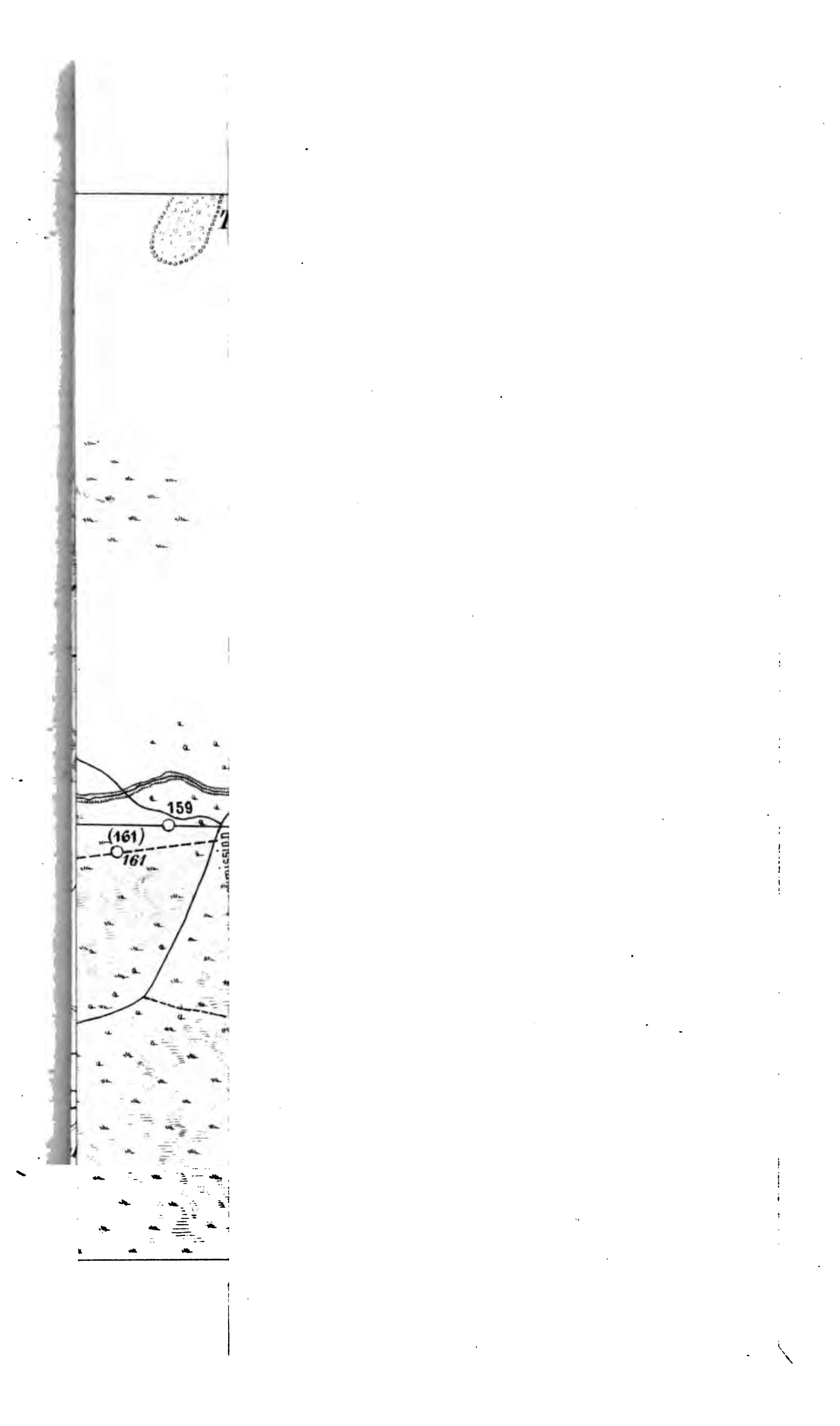
t pour le
3ORCEA PRÈS FETESTI
ÉES MOBILES.



Echelle 10 5 0 10 20 30 Kilomètres. 1:300,000.

Extrait de Carte

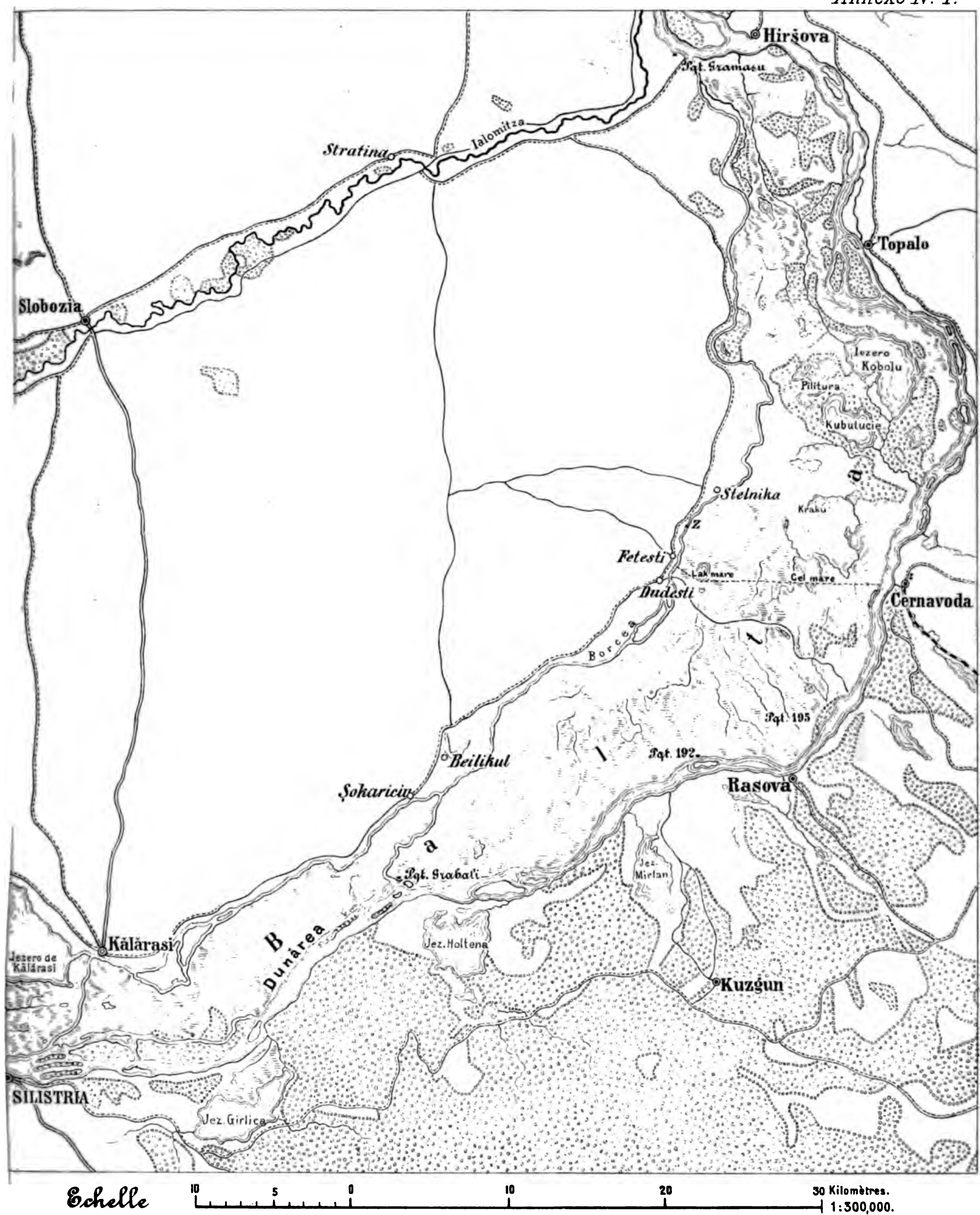
pour la représentation des conditions hydrologiques du Danube aux alentours du passage projeté Fetesti — Cernavoda.


159
(161)
161

Ce

…r mètre

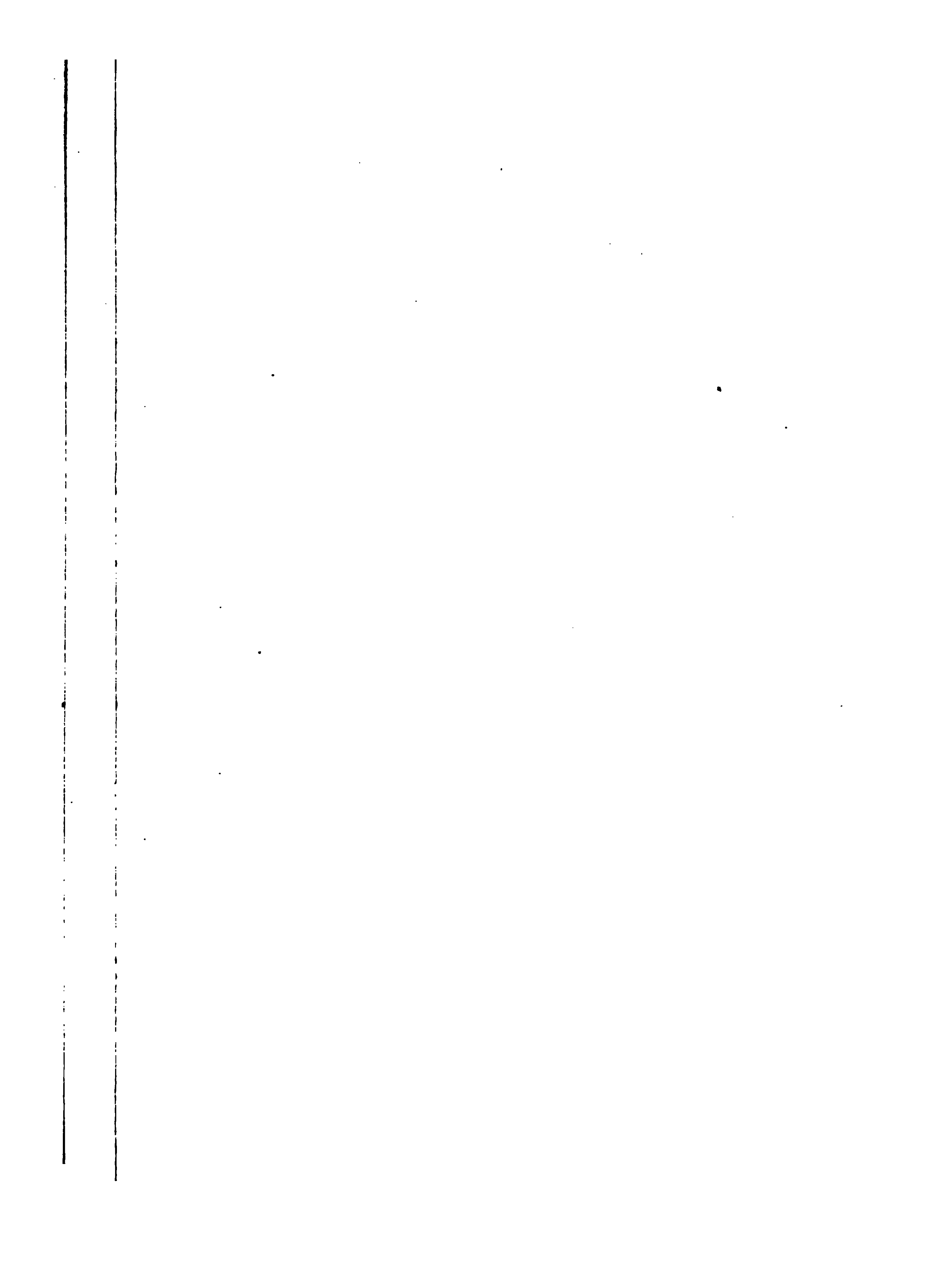
haut



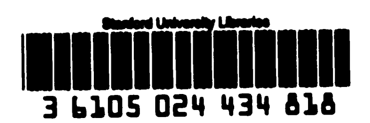
Extrait de Carte

pour la représentation des conditions hydrologiques du Danube aux alentours du passage projeté

Fetesti — Cernavoda.



9T



Stanford University Libraries
3 6105 024 434 818

